НАУКА ВЕЛИЧАЙШИЕ ТЕОРИИ

ГЮЙГЕНС

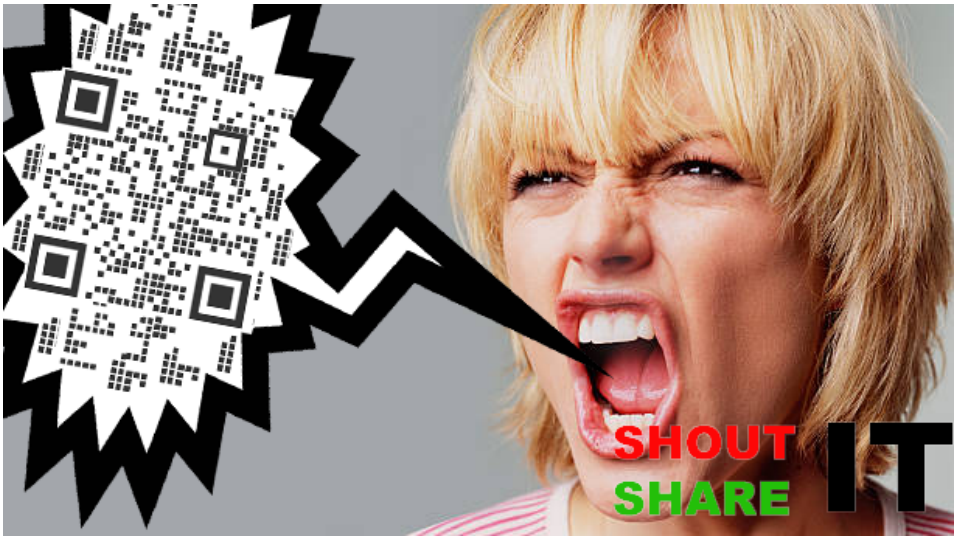
38

Волновая теория света

В погоне за лучом

DeAGOSTINI

ГЮЙГЕНС волновая теория света
38
DeA


SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Христиан Гюйгенс стоял у истоков современной науки. Этот нидерландский физик и математик получил превосходное образование, которое позволило ему войти в высшие интеллектуальные круги XVII века в период, когда появлялись государственные научные организации и обмен идеями становился все интенсивнее. Гюйгенс был первопроходцем в математическом изучении вероятностей, а его опыт в области механики позволил ему сконструировать маятниковые часы. Но главные достижения ученого относятся к области оптики и исследования природы света, в ходе которого был сформулирован принцип Гюйгенса, позже ставший основой волновой теории света. Ученый также существенно улучшил телескопы, открыл с их помощью Титан, главный спутник Сатурна, и разглядел его кольца.

-
- David Blanco Laserna
- Введение
- ГЛАВА 1
- ГЛАВА 2
- ГЛАВА 3
- ГЛАВА 4
- Список рекомендуемой литературы
- Указатель

David Blanco Laserna
Гюйгенс Волновая теория света. В погоне за лучом

Пер. с итал. — М.: Де Агостини, 2015. — 168 с.
Еженедельное издание
ISSN 2409-0069
© David Blanco Laserna, 2013 (текст)
© RBA Collecionables S.A., 2013
© ООО «Де Агостини», 2014-2015

Введение

Если на долю каждой нации должен выпасть золотой век, то для Нидерландов таким периодом стало XVII столетие, причем золота в это время голландцам досталось гораздо больше, чем жителям других государств. На крошечной граничащей с морем территории наблюдалась такая концентрация блестящих умов, что она опровергала все законы статистики. Нидерландцы преуспевали в самых разных искусствах и ремеслах, от живописи до оружейного дела, от торговли до навигации, от строительства до литературы и науки. Большинство из них обладало природным любопытством, которое помогало прокладывать мостики от одного вида деятельности к другому, как будто жители страны и в самом деле ощущали себя частью грандиозного совместного проекта.

Философ Барух Спиноза шлифовал линзы для телескопов и микроскопов. Считается, что Антони ван Левенгук, один из основоположников научной микроскопии, был моделью для картин Яна Вермеера «Географ» и «Астроном», а также продемонстрировал художнику возможности камеры-обскуры. Инженер Симон Стевин писал о политике, а государственный деятель Ян де Витт был еще и математиком. Все они смогли раскрыть свои таланты благодаря религиозной терпимости, которая распространялась на знаменитых иностранцев, ставших жертвами цензуры на родине, — таких как Декарт. В Нидерландах печаталось чуть меньше четверти всех книг, издаваемых в Европе.

В этот прекрасный период весь мир, казалось, вращался вокруг Амстердама, Гааги и Делфта, однако Христиан Гюйгенс много лет провел вдалеке от родины — преимущественно в Париже. С ранних лет его учили, как вести себя на большой сцене, которой является весь мир, и в конце концов он затмил на ней своего отца, хотя тот тоже был звездой первой величины. Константин Гюйгенс стал воплощением идеального придворного, о котором мечтал Бальдассаре Кастильоне[1 Итальянский писатель, автор трактата «О придворном». — Примеч. ред.]. Это был полиглот, музыкант, одаренный поэт и преданный дипломат при дворе принцев Оранских; с одной стороны, его преданность опиралась на чувство долга Константина, а с другой — была надежным источником дохода. Пытливый ум Константина не делал различий между точными и гуманитарными науками. В своей библиотеке в Гааге он собрал около 3 тысяч томов, десятая часть которых была посвящена физике и математике. Благодаря

разностороннему образованию Константин Гюйгенс и в зрелом возрасте был жаден до любых знаний — это качество он передал и своему сыну Христиану. Стремление последнего к непознанному способствовало также завязыванию интереснейших контактов, и в полном собрании сочинений Христиана Гюйгенса почти половину всех томов занимает переписка. Гюйгенс-младший совершенно не походил на смиренного мудреца, в одиночестве корпящего над трактатами. Напротив, он общался с самыми выдающимися представителями научного сообщества, обсуждал свои идеи с Исааком Ньютоном, Готфридом Лейбницем, Робертом Бойлем, Мареном Мерсенном, маркизом Лопиталем, Робертом Гуком и Антони ван Левенгуком. Разветвленная сеть личных контактов, развитие средств коммуникации, появление первых научных журналов и организаций, таких как Лондонское королевское общество и Французская академия наук, которую ученый некоторое время возглавлял, позволяли ему всегда быть в курсе последних открытий.

Решающая научная битва произошла в небесной сфере, и главным ее оружием был телескоп. Первые заслуги Гюйгенса связаны с продолжением дела Галилея и решением задач, возникших в результате наблюдений за Сатурном. В самых простых изображениях звездного неба мы видим три символа: окружности, обозначающие спутники или планеты, многоугольники с разным количеством углов — звезды, и круги вокруг кольца. Этот последний символ появился позже остальных и был введен именно Гюйгенсом в 1656 году. Разрешение его телескопа не позволяло различить кольца Сатурна, и заслуга ученого состоит в том, что он смог эти кольца представить, ведомый лишь собственным опытом и знаниями. Также Гюйгенс открыл первый спутник этой планеты, Титан, и с удивительной точностью установил масштаб Солнечной системы. Его открытия были плодом длительных теоретических изысканий. Гюйгенс изучал небо при помощи своих телескопов, но прежде чем сконструировать приборы, он сформулировал законы геометрической оптики, определяющие траекторию лучей света, проходящих через ряд линз. Эта теоретическая основа помогла ученому максимально использовать возможности инструмента. Он разработал составные линзы, корректировавшие сферическую аберрацию, и микрометр, превращавший телескоп в измерительный инструмент. В 1660-х годах к Гюйгенсу пришло понимание, что его знания о такой материи, как свет, на первый взгляд довольно глубокие, на самом деле оставались поверхностными и описательными. Тогда ученый начал

исследовать природу этого явления. Его подход открыл дорогу весьма смелой теории, которая сегодня считается зачатком волновой модели света и на основе которой смогли оформиться более сложные концепции Френеля, Юнга и Максвелла. Гюйгенс считал, что свет — это волна, которая расходится кругами (на самом деле сферическими волнами). Возбуждение частиц света передается глазу наблюдателя посредством длинной цепи столкновений между частицами материи. Так называемый принцип Гюйгенса стал примером тонкого математического подхода к физическим явлениям и использовался в качестве теоретической основы для понимания загадочного поведения исландского шпата. Эта разновидность прозрачного кальцита, обнаруженная в рудниках Хельгустадира, демонстрирует феномен двойного лучепреломления: проходя через минерал, луч света раздваивается.

Хотя исследования Сатурна и света обеспечили ученому долгую славу, больше всего сам Гюйгенс гордился созданием маятниковых часов. Об этом приборе начинал задумываться еще Галилей, но ему не удалось сконструировать достаточно надежный механизм. Гюйгенс рассмотрел вопрос со всех точек зрения; он не ограничился чисто механическим подходом, а провел настоящие инновационные исследования в области физики и математики.

Часто этого ученого называют последователем Декарта, но сам он не приветствовал бы такое сравнение. Если бы Гюйгенс мог выбирать учителей, то предпочел бы Галилея или Архимеда. Декарт строил великолепные обобщенные системы, но обращал мало внимания на детали, которые так привлекали Гюйгенса. Как говорил Лейбниц, ученик этого голландского ученого, «он не выказывал ни малейшего увлечения метафизикой». Разумеется, в ранней юности Гюйгенс восхищался автором «Рассуждения о методе»: «Я был убежден, что каждый раз, как я сталкивался с какой-либо трудностью, это была моя вина, потому что я не понял его мысль». Однако вскоре он изменил подход и начал рассматривать работы Декарта более критически, так что многие труды Гюйгенса можно считать опровержением идей французского философа, например его исследование столкновений или геометрической оптики. В конце своих дней он пришел к отрицанию идей Декарта: «Сейчас я не нахожу во всей его физике, метафизике или в его утверждениях по метеорологии ничего, что я мог бы принять за истину». Если бы Гюйгенс и смог прийти к согласию с Декартом, то оно касалось бы отрицания ньютоновского всемирного притяжения и поиска альтернативной механики, объяснявшей притяжение между телами посредством

столкновений частиц материи.

Для Гюйгенса понять явление означало изложить его на языке математики. В этом он превзошел самого Галилея, и затмить нидерландского ученого никто не мог вплоть до Ньютона. В эпоху, когда еще не существовало границ между чистой и прикладной математикой, Гюйгенс был физиком в своей математике и математиком в своей физике. В его геометрии видна любовь к механике, свойственная Архимеду, который взвешивал на воображаемых весах фигуры, площадь которых хотел определить. Можно сказать, что одним глазом Гюйгенс смотрел на мир через призму физики, а другим — через призму математики, и на основе этих данных разум ученого формировал трехмерное изображение. Его восприятие оптики как дисциплины, «в которой геометрия применяется к материи», хорошо иллюстрирует подход Гюйгенса к физике. Ум ученого искал окружности, кривые и углы в волнах света и в сердце часовых механизмов. Принцип Гюйгенса, на котором основывается его интерпретация оптики, можно рассматривать и как геометрическое построение. Незадолго до того, как голландец начал научную карьеру, Декарт узаконил союз между алгеброй и геометрией. Гюйгенс использовал связь между этими дисциплинами и стал первопроходцем в применении уравнений. Многие приписывают ему честь создания первой физической формулы в 1652 году.

Высказывание Галилея о том, что книга природы написана на языке математики, стало довольно известным. Но для того чтобы точно описывать все более сложные явления, необходимо было расширить словарь, унаследованный от греков и арабов. В XVII веке Ньютон и Лейбниц, развивая математический анализ, создали необходимые для такого описания понятия. Эта революция застала 60-летнего Гюйгенса врасплох. Он с недоверием наблюдал за необратимыми изменениями математики: ученый к тому времени уже нашел собственный способ математического описания Вселенной, и ему не нужны были ни помощники, ни готовые формулы.

В трактате «Искусство взвешивания» Симон Стевин взывал к прагматизму: «Размышления о принципах любого искусства есть бесплодное усилие, когда его цель не направлена на действие». Гюйгенс был полностью согласен с этим высказыванием. Он, как Галилей и Ньютон, принадлежал к ученым, не возводившим преград между кабинетом и мастерской или лабораторией. Они не только создавали теории, но также конструировали инструменты и совершенствовали механизмы, чтобы получить более точные результаты наблюдений. Гюйгенс был большим

поклонником научных приспособлений — телескопов, микроскопов, насосов, часов... Он считал их одновременно и посредниками в исследовании мира, и примерами удивительного применения физических законов. Ученый внес большой вклад в создание научного оборудования, что в не меньшей мере способствовало развитию науки, чем сформулированные им законы и принципы.

Гюйгенс — прообраз современного ученого, причем не столько в работах, сколько в подходе, в убеждении, что наука развивается благодаря приближениям. Он не стремился открыть Истину, а просто хотел создать работающие модели: «В области физики не существует точных доказательств, а причины можно узнать только через последствия, делать предположения — только на основе опыта или известных явлений и стараться проверить, соответствуют ли этим предположениям другие явления». К этому ученый добавлял: «Однако отсутствие доказательств в физике не должно приводить нас к выводу, что все в ней одинаково туманно. В любом случае мы должны знать степень вероятности явления, которая зависит от числа экспериментов, подтверждающих наши гипотезы».

Гюйгенс был пленником своего перфекционизма. Можно сказать, что современники видели лишь одну восьмую часть его достижений — остальные семь восьмых работы, словно айсберг, скрывались в темной глубине. Ученый оставил неоднозначное наследство, и многие его сокровища были по достоинству оценены лишь историками, поэтому авторитет Гюйгенса при жизни был не так высок, как того заслуживало количество и качество его открытий. Он десятилетиями собирал новые результаты в области оптики и не публиковал их, считая свои открытия промежуточными этапами на пути к поставленной цели — созданию телескопа, дающего идеальное изображение. Ученый был так требователен к своим работам, что многие его достижения стали известны только после его смерти, уже устарев.

1629 14 апреля в Гааге у дипломата и поэта Константина Гюйгенса и Сюзанны ван Барле рождается сын Христиан.

1645 Изучает право и математику в Лейденском университете.

1647 Продолжает дипломатическое образование в колледже Collegium Auriacum в Бреде.

1652 Гюйгенс выводит законы, управляющие упругими столкновениями, а также начинает исследования в области геометрической оптики, которые в итоге позволят улучшить телескоп с помощью окуляра Гюйгенса, микрометра и диафрагмы.

1655 В марте Гюйгенс открывает первый спутник Сатурна, Титан, а через несколько месяцев приходит к выводу, что планета окружена кольцом.

1657 Публикует свою первую книгу по теории вероятностей, вдохновленную перепиской Ферма и Паскаля.

1659 Издает трактат Systema Satumium («Система Сатурна»), в котором излагает астрономические открытия и приводит удивительно точные расчеты относительных размеров планет и всей Солнечной системы. В ходе работы над маятниковыми часами открывает таутохронность циклоиды, а также устанавливает, как движется тело под воздействием центростремительной силы.

1666 Переезжает в Париж и возглавляет Французскую академию наук, только что основанную Людовиком XIV.

1673 Публикует работу Horologium oscillatorium («Маятниковые часы»), в которой содержится полное описание его приспособления; проектирует часы с разжимающейся пружиной. Первенство этого открытия оспаривает также английский ученый Роберт Гук.

1676 Начинает изучать природу света, что позже приведет к созданию знаменитого принципа, названного именем ученого и объясняющего двойное лучепреломление кристалла исландского шпата.

1681 Возвращается в Гаагу.

1689 Едет в Лондон, где знакомится с Исааком Ньютоном. В последние годы пишет работу «Космотеорос», в которой исследует возможности существования жизни на других планетах. Спорит с немецким философом Готфридом Лейбницем о роли математического анализа.

1690 Публикует «Трактат о свете», в котором излагает свое видение природы света и делает наброски волновой теории, позже развитой Томасом Юнгом и Огюстеном Френелем.

1695 9 июля умирает в Гааге в возрасте 66 лет.

ГЛАВА 1
Геометрия света

После того как Гюйгенс занялся изучением геометрической оптики, природа света стала его самым большим научным наваждением. Ученый добился в этой области больших успехов, позволивших ему математически описать поведение лучей света, проходящих через группу линз, и использовал свои идеи для усовершенствования телескопа.

Однако самым большим достижением Гюйгенса стало изучение небесной сферы и открытие Титана.

Некоторые семьи из поколения в поколения занимаются одним и тем же делом, совершенствуют свое мастерство и передают его от отца к сыну. В Европе XVII века фамилия Гюйгенс была тесно связана с дипломатией: ее с гордостью носили послы, секретари и советники, состоявшие на службе Республики Соединенных Провинций, образовавшейся после получения независимости от Испании. Отец Христиана в честь стойкости жителей Бреды, проявленной во время осады города в 1581 году, был назван Константином (от латинского «стойкий», «постоянный». — Примеч. перев.).

Последователи кальвинизма считают, что спасение или погибель души определяются уже при рождении. Судьба маленького Константина была предопределена: он должен служить государству, которому для сохранения своей неприкосновенности требовались блестящие умы. Его отец, личный секретарь Вильгельма Оранского, разработал для мальчика такую плотную и обширную образовательную программу, что тот справился с ней только благодаря природной одаренности. В итоге Константин стал образцом дворянина эпохи Возрождения — он был способен заключать политические союзы, вести торговые переговоры, сочинять мадригалы и со знанием дела давать советы по приобретению предметов искусства.

Он посещал все главные европейские дворы (разумеется, за исключением испанского), в молодости сыграл на лютне перед королем Англии и был секретарем двух штатгальтеров Оранской династии: Фредерика-Генриха и Вильгельма II. В Англии Константина посвятили в лорды, а во Франции — в рыцари ордена Святого Михаила. Его портреты украшают стены Лондонской национальной галереи и Государственного музея в Амстердаме. Частым гостем в гаагском доме Константина был Декарт, который поражался тому, как «один-единственный ум мог

заниматься столькими вопросами и находить для всех них идеальное решение». Даже самые ярые критики нидерландской политики того времени благодарны Гюйгенсу за поддержку, оказанную молодому Рембрандту путем официальных заказов. Одновременно с основной работой Константин не забывал и о своем таланте и настоящей страсти — литературе. Он писал во всех жанрах и на семи языках. Гюйгенсу принадлежит множество поэтических произведений, одна автобиография и подробный дневник, так что он занимает почетное место в нидерландской литературе.

Когда пришло время заняться образованием своих собственных детей, Константин применил отцовский подход, с помощью которого сам стал высокопоставленным чиновником при дворе.

ПОД ЗНАКОМ САТУРНА

Христиан Гюйгенс родился утром в субботу, 14 апреля 1629 года. Символично, что в Нидерландах этот день недели считался днем Сатурна, а самым выдающимся достижением ученого впоследствии стало открытие колец у этой планеты. За несколько дней до родов у его матери, Сюзанны ван Барле, появилось плохое предчувствие: на улице она встретила мальчика с изуродованным лицом и испугалась, что родит чудовище. Однако страхи оказались напрасными — у нее родился прекрасный здоровый сын. Сюзанна была очень образованной женщиной, талантливой художницей и обладала тонким юмором, с которым комментировала барочные поэмы мужа, посвященные ей. Она отличалась слабым здоровьем и на протяжении почти всей жизни страдала от ужасных головных болей, которые унаследовал и Христиан. Как и для большинства женщин того времени, каждая беременность означала для Сюзанны немалый риск для жизни, а после родов ей приходилось несколько дней или даже недель соблюдать постельный режим. Всего она родила четырех сыновей. Пятым ребенком была девочка; после этих родов Сюзанна два месяца боролась с высокой температурой и в итоге умерла от инфекции. Христиану в то время было восемь лет. Он очень переживал смерть матери и долго отказывался снимать траур.

Мальчик рос под грохот военных операций против испанцев. Его отец служил при дворе Фредерика-Генриха Оранского, целиком поглощенного завоеваниями и проводившего больше времени на поле брани, чем в своей резиденции. В этих условиях

Константин не мог уделять много времени детям и часто бывал в отлучках, однако внимательно следил за тем, как они справляются с тщательно продуманной учебной программой. Двое старших, Константин и Христиан, занимались с одними и теми же учителями и периодически объединялись против них. Преподаватель латыни, Генрих Бруно, так писал о своих непослушных питомцах:

«Они не выполняют ни одного задания, которые я им даю, разговаривают со мной нахальным тоном и делают, что хотят. Бруно как будто не существует, он пустое место».

Поэтому, когда обстановка на испанском фронте успокаивалась, Константин должен был скорее мчаться домой и водворять там мир. Отец поощрял соперничество между братьями, но они всегда были очень дружны между собой.

Гюйгенс-старший в мельчайших подробностях описывал в дневнике, как развивались его сыновья, и с беспокойством наблюдал за первыми шагами Христиана. Мальчик заикался, у него была плохая память, он часто разговаривал сам с собой.

НАСЛЕДНИК АРХИМЕДА

Симон Стевин (1548-1620), глядя на какой-либо предмет, созданный руками человека, сразу же начинал думать о том, как его усовершенствовать, причем усовершенствования касались чего угодно: мельницы, водяного насоса, плотины или лошадиных поводьев. Этот незаконнорожденный юноша из Брюгге благодаря своему таланту смог сделать блестящую карьеру и из бедной хижины попал ко двору принцев Оранских. Принц Мориц был восхищен бухгалтерскими и военно-инженерными способностями Симона, который в своих научных поисках часто обращался к работам Архимеда и в итоге превзошел своего кумира. Стевин открыл гидростатический парадокс: давление, оказываемое жидкостью, не зависит от формы сосуда, в котором она содержится, а только от того, до какого уровня она доходит. С появлением его трактата De Thiende («Десятая») в Европе стали использоваться десятичные дроби. Стевин был шифровальщиком, писал работы по тригонометрии, арифметике, геометрии, музыке, политике, землеустройству и мореплаванию, а также определил наилучший способ возведения фортификаций и военных лагерей.

Анализ равновесия

Среди прочих изобретений Стевина больше всего его современников поразило наземное средство передвижения с парусом, которое оставляло далеко позади любую лошадь, идущую галопом. Сам же Стевин больше гордился своим анализом равновесия тел на наклонной плоскости. Он придумал остроумное доказательство, расположив цепь с одинаковыми шарами вокруг треугольного клина. Шары должны были достичь равновесия, так как в противоположном случае они катились бы без остановки, представляя собой вечный двигатель. Поскольку число шаров пропорционально длине наклонной плоскости, то пропорциональной должна быть и общая масса, которая давит на нее. Стевин заключил, что два тела, связанные веревкой, расположенные на разных уровнях, достигнут равновесия, когда их веса станут пропорциональны длине наклонной плоскости. Существует мнение, что Галилей никогда не сбрасывал с Пизанской башни два шара из разных материалов: один — из дуба, другой — из свинца, а эта легенда появилась после эксперимента, проведенного Стевином, взобравшимся на колокольню церкви в Делфте. Чтобы опровергнуть тезис Аристотеля о том, что скорость падения объектов пропорциональна их весу, он бросил вниз два свинцовых шара, один из которых был в десять раз тяжелее другого. Шары коснулись земли почти одновременно.

На обложке трактата De Beghinselen der Weeghconst («Начала статики») изображена цепочка из шаров.

Но едва ему исполнилось восемь лет, как тон отцовских заметок изменился: Христиан начал делать потрясающие успехи. Поскольку Константин постоянно пребывал в поиске талантов для двора, он чувствовал себя обязанным передать сыновьям любовь к поэзии. Однако воспитание Христиана в этой области прервалось, едва мальчику исполнилось 14, — после этого Константин не мог добиться от сына ни одного стихотворения на латыни — «ни приказами, ни обещаниями, ни упреками». Христиану надоело читать Вергилия наизусть, его больше привлекала математика. Первыми учителями мальчика были преподаватели богословия или начинающие поэты. Все они чувствовали себя неуютно, сталкиваясь с его страстью к конструированию различных механизмов. Один из воспитателей предупреждал Константина о возможных рисках этого увлечения:

«Христиан [...] увлекается игрушками, которые он сам и создает, маленькими сооружениями или механизмами. Вне всякого сомнения, они свидетельствуют о его большом уме, но совершенно неуместны. Сударь, ведь Вы бы не хотели, чтобы Ваш сын стал ремесленником. Республика, с самого его рождения возложившая на

него такие высокие надежды, желает, чтобы он последовал примеру отца и посвятил себя дипломатии».

Мальчик не доставлял никаких хлопот, когда его оставляли в покое, но резко сопротивлялся любым попыткам заставить его заниматься чем-то, что не вызывало его интереса. Когда Христиану исполнилось 15 лет, отец смирился со склонностями сына и решил не тушить горящий в нем огонь, а поддерживать его. Константин нанял прекрасного педагога Яна Стампиоэна, который уже был известен как преподаватель и математик: он давал уроки сыну Фредерика-Генриха Оранского и бросил публичный вызов Декарту, предложив тому решить геометрическую задачу, а затем раскритиковав решение. Стампиоэн составил для Христиана обширный список книг, куда входили работы Птолемея, Коперника, Стевина, Браге, Кеплера и того же Декарта. Он не только познакомил своего ученика с научными открытиями, но и посоветовал ему всегда делать собственные выводы, а не принимать на веру чужие умозаключения. Этому совету Гюйгенс последовал буквально. Константин с уважением относился к научным изысканиям сына, но ни на шаг не отошел от плана воспитания из него идеального придворного. Еще до поступления в университет юноша знал риторику, умел фехтовать, играл на лютне, виоле и клавесине, ездил верхом, охотился, пел, танцевал, катался на коньках и рисовал. Кроме родного языка, он прекрасно говорил на греческом, латыни, итальянском, французском, а также, что еще более важно, владел искусством беседы и умел вести себя как настоящий аристократ.

«БЫТЬ ИЛИ НЕ БЫТЬ»

Расцвет физики и математики в Нидерландах был тесно связан с военной инженерией. Развитие науки вызывало гнев церковных властей, но в то же время интриговало аристократов-протестантов. Первопроходцы в искусстве механики, такие как Симон Стевин, были также опытными фортификаторами. Все они следовали примеру Леонардо да Винчи и Галилео Галилея, которые стучались в двери властителей и меценатов, продавая им плоды своих размышлений, имевшие военное применение. В 1600 году штатгальтер Мориц Оранский, старший брат Фредерика-Генриха, поручил Стевину создать инженерное училище в Лейдене — символично, что оно разместилось в монастыре,

опустевшем после протестантской Реформации. В основу учебной программы Стевин положил математику.

В 17 лет Христиан поехал в Лейден, чтобы записаться в университет. Вместе с отцом они нашли компромисс, учитывающий интересы обоих: юноша каждый день за одно занятие по математике должен был посещать два занятия по юриспруденции. Математику в Лейдене преподавал Франс ван Схотен (1615-1660) — скорее исследователь, чем теоретик, он обладал удивительным педагогическим талантом и умел объяснить последние научные открытия лучше, чем это сделали бы их авторы. Ван Схотен издал работы Виета и Ферма, которые до этого существовали только в рукописных вариантах. Однако он не ограничивался обычной публикацией книг, но обогащал издания своими комментариями и многостраничными приложениями, которые восполняли пробелы авторов и облегчали понимание их идей. Особенно сильно ван Схотен восхищался Декартом, поэтому открыл широкой публике не только работы, но и облик философа, став автором одного из немногих его портретов. Как учитель, он сыграл важнейшую роль в создании физико-математической школы, принесшей важные плоды. Ван Схотен руководил исследованиями своих учеников и часто публиковал их работы в приложениях к издаваемым книгам. Одна из самых известных, Exercitationes mathematicae («Математические этюды»), завершалась трактатом по теории вероятностей De ratiociniis in ludo aleae («О расчетах в азартной игре»). Exercitationes были одним из текстов, которые Ньютон читал в студенческие годы в Кембридже.

По прошествии двух лет Константин вырвал сына из его математического рая в Лейдене: Христиан должен был стать пешкой в шахматной партии, на кону которой стояла политическая карьера его отца. После смерти Фредерика-Генриха Оранского власть перешла к его сыну Вильгельму, и двору требовалась свежая кровь. Чтобы завоевать расположение нового штатгальтера, Константин отправил троих старших сыновей в Бреду, в колледж Collegium Auriacum, ректор которого, Андре Риве, до этого был учителем Вильгельма. Обстановка в Бреде отличалась от лейденской атмосферы, и братья Гюйгенсы боролись со скукой по-своему. Обычно студенты приходили на занятия с оружием, и однажды между младшим братом Христиана, Лодевейком, и его пьяным сокурсником завязалась драка. Ректор сделал им внушение, и возмущенный Константин забрал сыновей из колледжа.

Следующим этапом пути, предназначенного для Христиана, было совершенствование его юридического образования,

необходимого для любого дипломата. Юноша так описал старшему брату свои ожидания от этого: «Подозреваю, что наш отец желает, чтобы мы таскались в адвокатскую коллегию, но надеюсь, что это не продлится слишком долго». Недостаток энтузиазма Христиана с лихвой восполнял его отец: он не жалел красок для описания сына в письме Генриху, графу Нассау-Зигенскому. Согласно характеристике отца, Христиан обладал массой прекрасных качеств, включая увлечение наукой.

По всей видимости, этот перечень достоинств произвел желаемое впечатление, так как в октябре 1649 года Гюйгенс-младший оказался в числе спутников графа Генриха в поездке в Данию, целью которой было заставить датские власти снизить налог с голландских кораблей за пересечение пролива Орезунд. Выполнив свои обязанности, Христиан оставил двор Фленсбурга и посетил дворец Гамлета в Эльсиноре. Возможно, поднявшись на одну из его башен, он, протестуя против судьбы, уготовленной ему отцом, произнес что-то вроде «Быть или не быть». С башни были видны берега Швеции, находившиеся всего в четырех километрах, и Христиану пришла в голову идея нанести визит Декарту, который в то время жил в Стокгольме и давал частные уроки королеве. К сожалению, осуществлению плана помешала непогода. А по возвращении домой после этого первого соприкосновения со своим профессиональным будущим, Христиан заболел.

Константин Гюйгенс в окружении сыновей. По традиции первенец изображался справа, значит, портрет Христиана находится слева от отца.

Христиан на портрете кисти Бернарда Вайланта, написанном по рисунку сестры ученого Сюзанны.

Франс ван Схотен

и портрет Декарта его работы. Ниже — текст, написанный Константином.

Юноша знает не только законы [...], но и французский, латынь, греческий, иврит, сирийский и халдейский; он прекрасный математик, музыкант и художник.

Из письма Константина графу Нассау-Зигенскому

По иронии судьбы, болезнь помогла Христиану выйти из тупика. В Европе XVII века оспа была практически обязательным заболеванием, которого не могли избежать даже высшие слои общества. Осенью 1650 года Вильгельм II, только что одержавший верх над своими политическими противниками, умер от вируса, так и не увидев своего единственного сына, который родился через восемь дней после его смерти. Сторонники республики постарались воспользоваться периодом регентства для

уничтожения наследной монархии. Преданность Оранской династии закрыла семье Гюйгенсов дорогу к высоким постам. Они оказались специалистами в деле, которым больше не могли заниматься. Для Константина это стало тяжелым ударом, однако его сыновья перенесли удар судьбы гораздо легче. Константин дал старшему сыну передышку. Пока молодой наследник престола, будущий Вильгельм III, подрастал, брат Христиана пил, рисовал и растрачивал свое блестящее образование в общении с прекрасным полом. Христиан же наконец смог спокойно заняться наукой.

ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Благодаря ван Схотену Гюйгенс прекрасно владел математикой, существовавшей до появления математического анализа. Первых успехов он добился в геометрии, в тех ее областях, которые сегодня считаются устаревшими: такие как квадратура — геометрическая игра, состоящая в том, чтобы строить квадраты на основе любых фигур так, чтобы площадь квадрата была равна площади исходной фигуры. При решении задачи можно было пользоваться только линейкой и циркулем, из-за чего построить некоторые квадратуры, например квадратуру круга, было невозможно. Только в XIX веке немецкий математик Фердинанд фон Линдеман доказал невозможность такого построения, но до этого момента лучшие умы посвящали поискам решения огромное количество сил и времени. В возрасте 22 лет Гюйгенс нашел ошибку в одной из самых сложных попыток, предпринятой фламандским иезуитом Грегорио ди Сан Винченцо. Христиан усовершенствовал метод построения квадратур и применил его к коническим сечениям (эллипсам, параболам и гиперболам), а с помощью приблизительной квадратуры круга улучшил метод Архимеда для вычисления цифр после запятой в числе π.

Ван Схотен с энтузиазмом отнесся к работам Гюйгенса и полагал, что их можно поставить в один ряд с трудами древних греков. Он был прав, однако в XVII веке в математике происходила резкая смена вектора, окончательно отделившая ее от древнегреческой науки. Несмотря на то что геометрические открытия Гюйгенса не оставили заметного следа в истории математики, благодаря им он заслужил восхищение современников, а также овладел инструментами, позволявшими понять механизм природы.

Гюйгенс разделял интерес Архимеда к механике. На страницах трудов обоих соседствуют треугольники, весы, параболы и центры притяжения, так что трудно сказать, где заканчивается физика и начинается математика. В нидерландском языке есть слово vernufteling, как нельзя более точно описывающее Гюйгенса. Оно обозначает одновременно отличные интеллектуальные способности и склонность к ручному труду. Ученый не создал грандиозных систем, как Декарт или Ньютон, его больше интересовали отдельные явления, которые он разбирал так, словно имел дело с шестеренками сложного механизма, только вместо гаечных ключей и отверток использовал алгебру и геометрию. Все увлечения Гюйгенса приводили к изобретениям (таким как телескопы и часы), рождавшимся из почти чудесного объединения физики, математики и тонкого ручного труда. Ученый был любопытным примером стремления к чистой абстракции и одновременно с этим — ремесленного прагматизма. Это сочетание очень рано проявилось в его работе в области оптики. Свойства линз со временем стали главным научным интересом Гюйгенса, которому он отдавался на протяжении всей жизни, в итоге усовершенствовав конструкцию телескопа, а также сделав удивительные астрономические открытия. А самое главное — благодаря этому интересу ученый совершил одно из глубочайших исследований природы света. Конец истории имел для Гюйгенса горьковатый привкус: в соперничестве с Ньютоном они находились в разных весовых категориях, но в самом начале научной дуэли, когда Христиан дошел до пределов Солнечной системы, он, без сомнения, одержал победу.

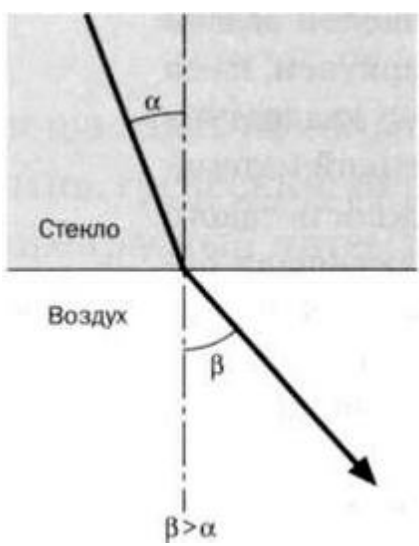


РИС. 1

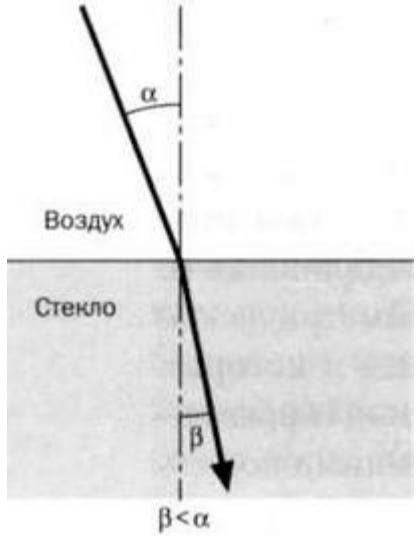


РИС. 2

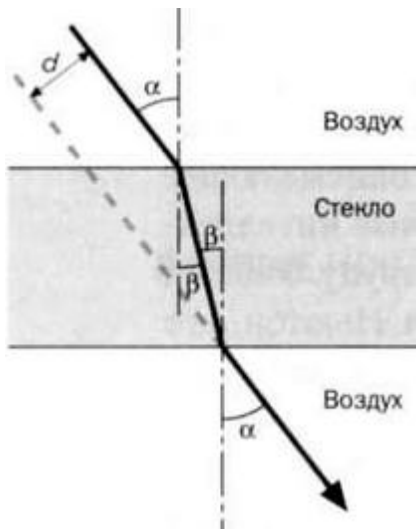


РИС.3

ЛАБИРИНТЫ СВЕТА

В конце октября 1652 года Гюйгенс признавался ван Схотену: «Я полностью поглощен диоптрикой». Этим термином в 1611 году Кеплер обозначил область, математически исследующую траектории луча света при прохождении через группу линз. Непротиворечивая теория, способная объяснить все явления, связанные с взаимодействием света и материи, появилась только

в XX веке. Но для создания оптических инструментов достаточно воспользоваться приближением геометрической оптики, в рамках которого свет рассматривается как пучок прямых линий. Ниже мы постараемся объяснить, в каком состоянии находилась диоптрика до того, как ею занялся Гюйгенс.

Свет преломляется или отклоняется, пересекая границу двух сред, которые в состоянии пропустить его. При этом часть света отражается — этот аспект мы не будем принимать во внимание, но он ограничивает количество линз, которые можно разместить в одной оптической системе. Чем больше стекол должен пересечь свет, тем больше его потеряется по пути и тем слабее будет изображение.

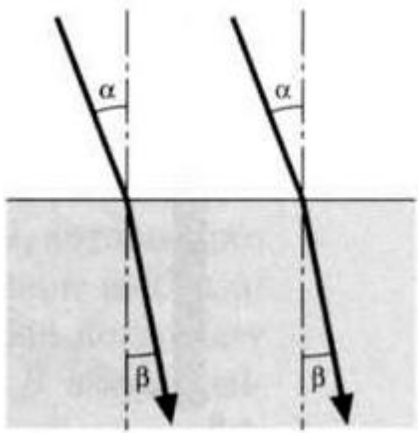


РИС. 4

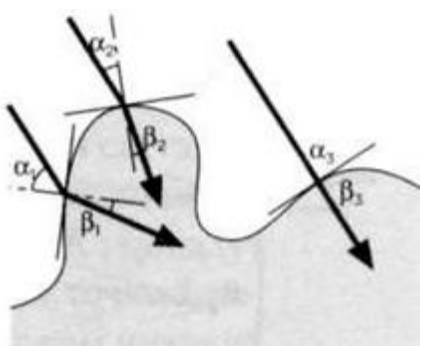


РИС. 5

Явление рефракции можно наблюдать в любой прозрачной среде, когда солнечные лучи проходят через воду, воздух и стекло. Угол отклонения зависит от каждой пары сред. Так, если луч проходит от стекла к воздуху (см. рисунок 1), угол будет больше ($\beta > a$), а если в обратном направлении, от воздуха к стеклу (см. рисунок 2), то меньше.

Проходя через прозрачное тело, лучи света дважды

пересекают границу сред, то есть дважды преломляются. Если эти границы являются плоскими и параллельными друг другу, при отклонении лучи смещаются в сторону (d), как в случае с оконным стеклом (см. рисунок 3).

Если граница не плоская, то лучи будут расходиться беспорядочно, в разных направлениях, в зависимости от точки пересечения (см. рисунки 4 и 5). Эти отклонения можно организовать, придав лучам определенное направление, и мы получим некоторое изображение.

Примем, что окружающие нас предметы испускают видимый свет. В некотором смысле так и есть, хотя это условное испускание, являющееся результатом реакции на свет, который на них падает (например, от Солнца или лампы). Атомы, из которых состоит материя, взаимодействуют с фотонами — частицами света, — доходящими до поверхности, и в ходе этого процесса высвобождают новые фотоны.

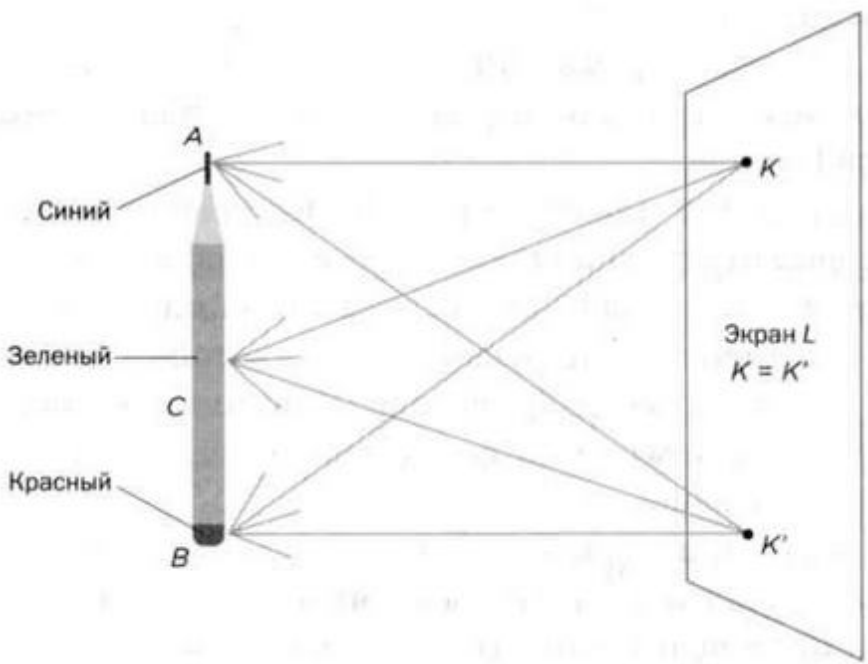


РИС. 6

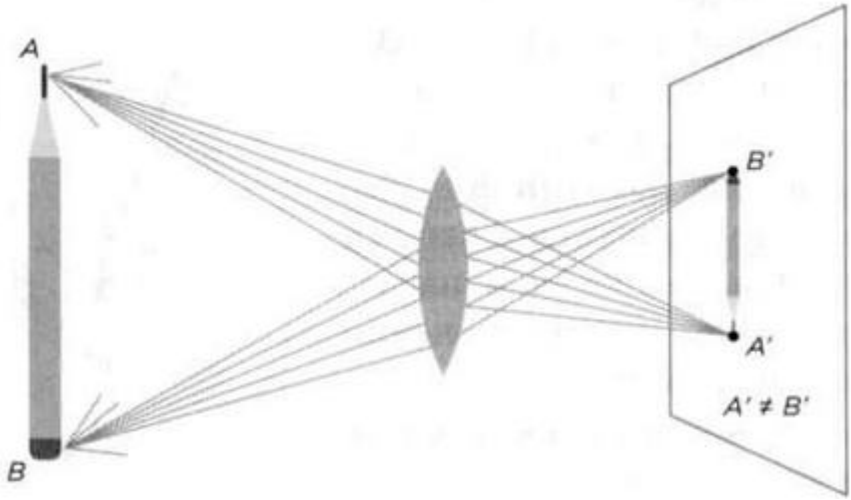


РИС. 7

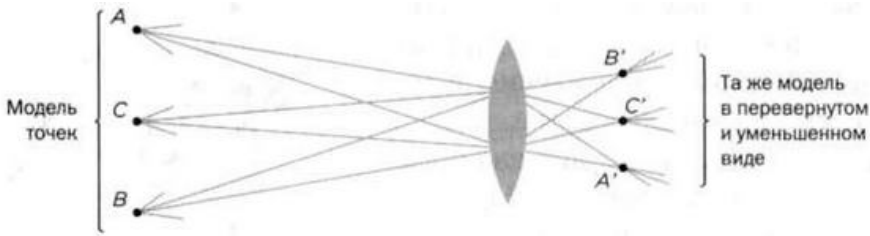


РИС. 8

Качество света, испускаемого таким образом, зависит от двух факторов: от того, как свет дошел до материи, и от самой ее структуры (какие атомы ее образуют и как они организованы в пространстве). Осветить яблоко солнечными лучами или красным искусственным светом — это не одно и то же, как не одно и то же — осветить яблоко, хрустальную пепельницу или зеркало. Мы можем положить под лампу книгу или апельсин. Оба предмета получат одинаковый свет от этого источника, но будут взаимодействовать с ним по-разному и отражать разные световые лучи. Эти различия дают нам информацию о том, на какой именно предмет мы смотрим. Если нам нужно изучить процесс образования изображений, то мы должны исходить из видимого света, отраженного телами.

Рассмотрим пример с синим карандашом на рисунке 6 (на предыдущей странице). С каждой точки его поверхности в разных направлениях исходят световые лучи. В них содержатся данные о форме и фактуре карандаша. Лучи, исходящие из точки А, взаимодействуют с синим грифелем, который поглощает зеленый и красный цвета. Лучи, исходящие из С, взаимодействуют со слоем зеленой краски, которая поглощает красный и синий.

Наконец, лучи, исходящие из B, взаимодействуют с красной краской, которая поглощает синий и зеленый. На все точки карандаша попал одинаковый свет, но лучи, отраженные этими точками, различаются, и эти различия дают информацию о точках. Обычно эти лучи рассеиваются в пространстве. Если мы поставим перед карандашом экран L, на каждую точку его поверхности будут падать лучи света, отраженные от поверхности карандаша. Например, на точку K, как и на любую другую точку экрана, например на K' попадут синие, зеленые и красные лучи. Таким образом, все точки L получат один и тот же свет от карандаша и не дадут нам никаких данных о том, как выглядит предмет.

Если же между экраном и карандашом мы разместим стеклянную линзу (см. рисунок 7), ситуация изменится кардинальным образом. Все синие лучи, отраженные точкой A и доходящие до линзы, сойдутся в точке экрана A', которая тоже будет синей. То же произойдет с красными лучами точки B, которые дойдут до красной точки B', и с любой другой точкой видимой поверхности карандаша. Свет от предмета больше не рассеивается равномерно по всей поверхности экрана. Линза благодаря своей геометрии и рефракции позволяет разделить лучи — она соединяет каждую точку карандаша с определенной точкой экрана. В результате на нем проецируется перевернутое изображение карандаша, которое дает информацию о предмете, полученную при взаимодействии с ним света. Эту передачу данных при помощи света мы называем видением, ведь в наших глазах имеются линзы, проецирующие изображение на светочувствительные клетки сетчатки.

В отсутствие экрана, сетчатки или пластины из светочувствительного материала лучи будут пересекаться за линзой, в точках A', B’, C и других и продолжат свой путь, не взаимодействуя друг с другом (см. рисунок 8). Совокупность этих точек формирует модель своего изображения, подобную (обратную и другого масштаба) той, что отражается от поверхности карандаша.

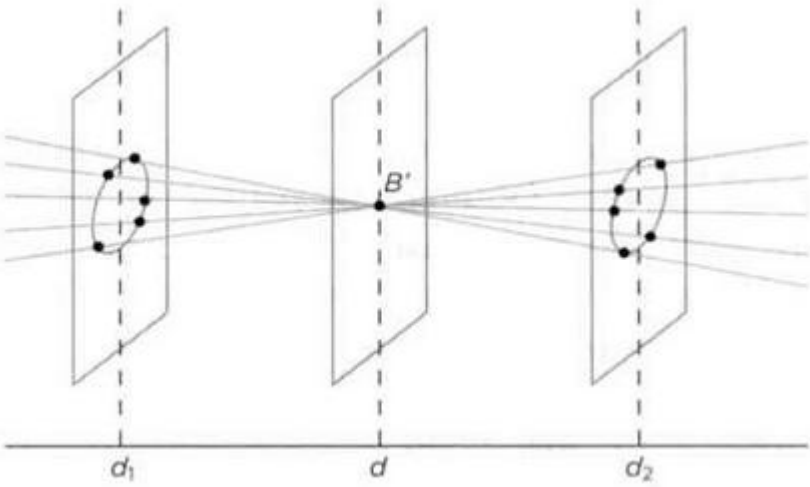


РИС. 9

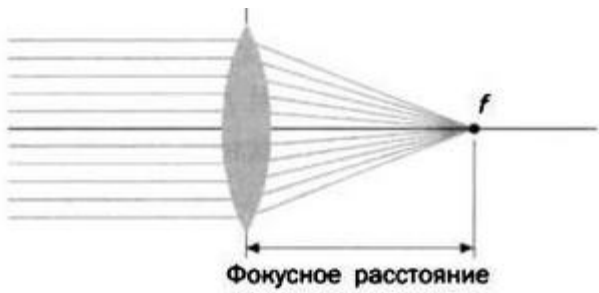


РИС. 10

По той же причине изображение будет четким только на определенном расстоянии от линзы, где сходятся лучи, порождающие точки A', B' и C'.

Если мы расположим экран немного ближе этой точки (в d_1) или немного дальше нее (в d_2), то лучи, исходящие, например, от B, не будут сходиться в одной и той же точке, порождая всего одну точку B', но спроецируют окружность (см. рисунок 9). Каждая точка карандаша порождает световое пятно, а итоговое изображение будет напоминать рисунок чернилами на впитывающей бумаге, когда каждая точка теряет свою четкость. Накладываясь друг на друга, окружности образуют размытое изображение.

РИС. 11

С самого создания диоптрики главной ее целью было установление размеров изображения и расстояния, на котором оно возникает в четком виде, в зависимости от расположения источника света. Ключ к решению надо искать в фокусном расстоянии, то есть в расстоянии, на котором сходится пучок лучей, прошедших сквозь линзу (см. рисунок 10). Впервые фокусное расстояние было определено экспериментальным путем после небольшого возгорания, вызванного концентрацией солнечных лучей, преломляющихся в изогнутом куске стекла. Точка, в которой они сходятся, называется фокусом; мы будем обозначать его буквой I.

Фокусное расстояние — самая важная оптическая характеристика линз, которая показывает их способность отклонять лучи света. Расстояние зависит от материала линзы и от ее геометрии, то есть степени изгиба ее контуров, влияющей также на толщину линзы. Чем больше изгиб линзы (и ее толщина), тем меньше фокусное расстояние, и наоборот.

Фокусное расстояние позволяет разделить пространство перед линзой — пространство предметов — на три большие зоны и исследовать, как меняется изображение в зависимости от расположения предмета. Первая зона начинается в точке, удаленной от линзы на два фокусных расстояния, и уходит в бесконечность. Вторая находится между точками фокусного расстояния и удвоенного фокусного расстояния. Третья лежит между линзой и точкой фокусного расстояния. Можно установить три области, симметричные этим и находящиеся с другой

стороны линзы (четвертую, пятую и шестую), — пространство изображений. Определив поле игры (см. рисунок 11), мы можем начать матч, поместив синий карандаш в первую зону. Линза уменьшит изображение и перевернет его, отобразив в пятой зоне. Чем дальше будет карандаш от линзы, тем ближе окажется его перевернутое изображение к точке f. При приближении карандаша к линзе его перевернутое изображение будет увеличиваться, одновременно приближаясь к 2f. Предметы, расположенные в этой первой зоне, формируют изображения, удобные для фотоаппаратов: когда мы фотографируем, нам нужно уместить пейзаж или лицо человека в небольшой прямоугольник.

В тот момент, когда карандаш достигает f, линза формирует его перевернутое изображение без уменьшения размеров в 2f. Если мы продолжим приближать карандаш и сместим его во вторую зону, линза образует увеличенное перевернутое изображение в шестой зоне. Чем ближе карандаш будет к f, тем больше будет изображение и тем дальше оно окажется от 2f.

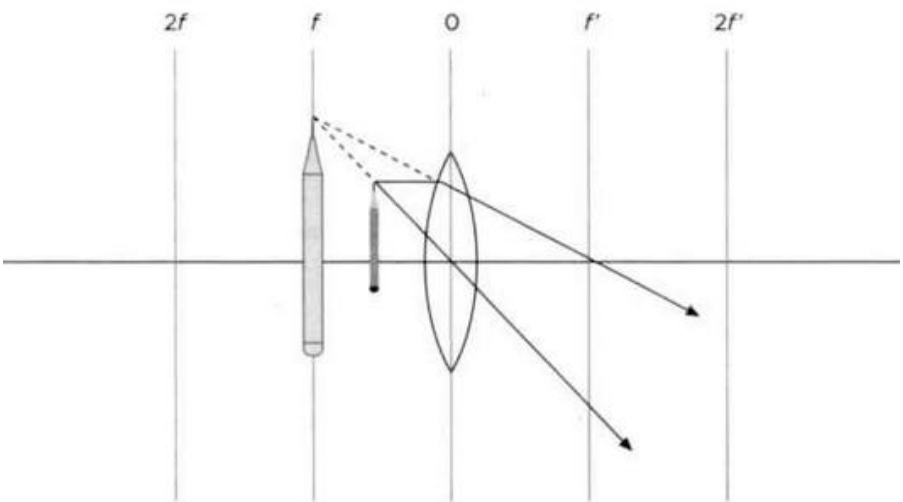


РИС. 12

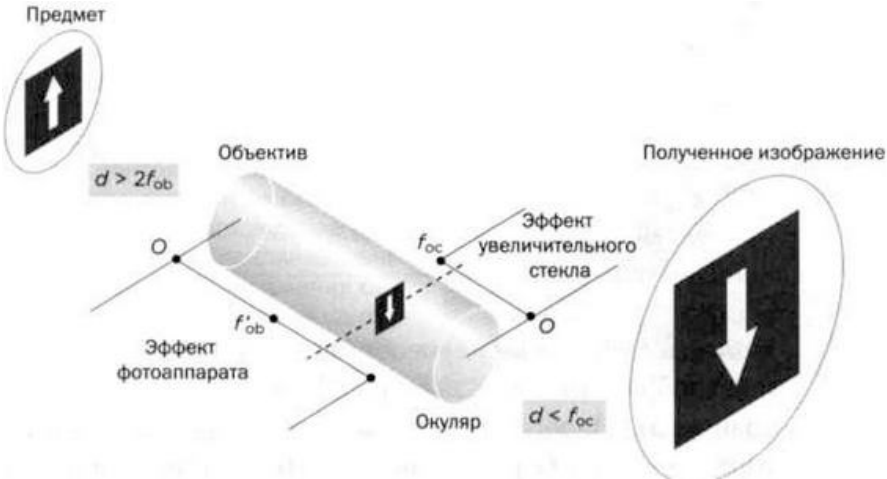


РИС. 13

Именно поэтому вторая область используется для проекции изображений, например на киноэкране.

Если карандаш окажется в /, линза не сможет сформировать никакого изображения, искривленные ею лучи света не будут организованы каким-либо полезным для нас образом. Но если поместить предмет в третью область, линза начнет отклонять лучи весьма своеобразно (см. рисунок 12). Полученное изображение нельзя будет спроецировать на экран или фотоаппарат. Изображение будет представлять собой карандаш гораздо больших размеров, при этом не перевернутый. Такое изображение называется мнимым, а этот эффект используется в увеличительных стеклах, которые подносят очень близко к предметам.

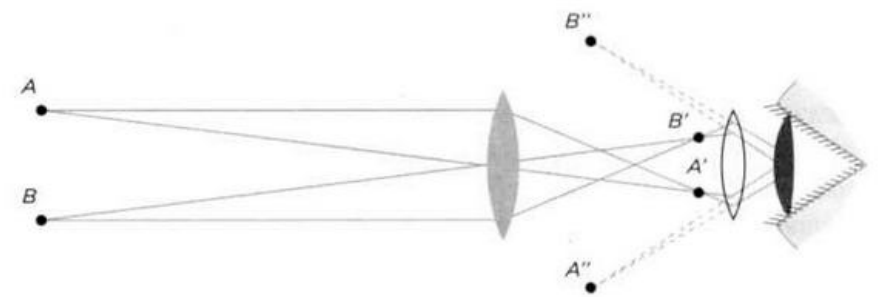


РИС. 14

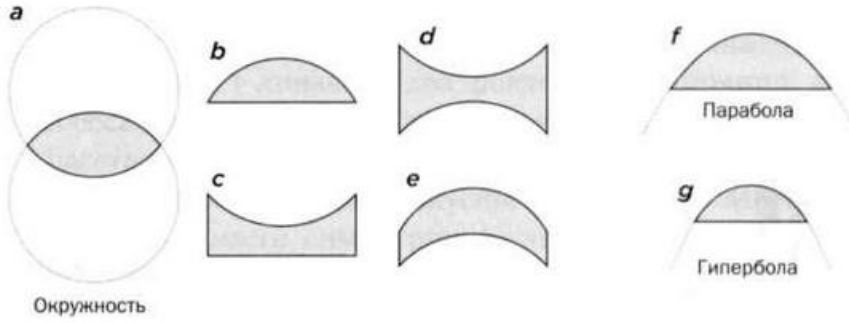


РИС. 15

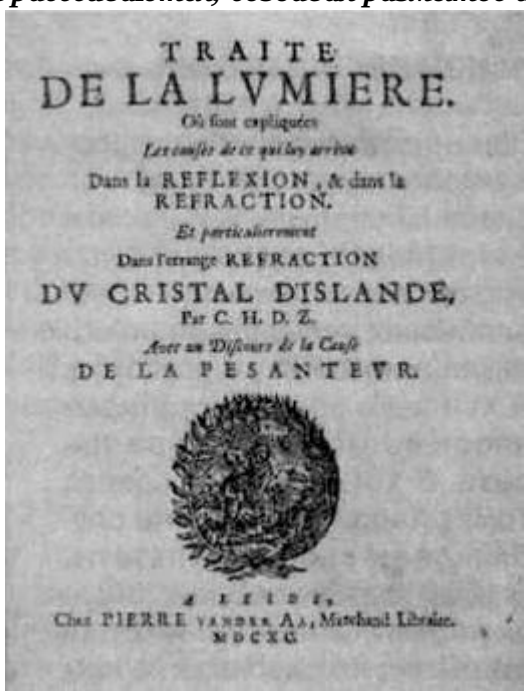
Примерно в 1608 году было случайно обнаружено, что комбинируя последовательные отклонения, производимые двумя линзами, можно получить увеличенные изображения удаленных предметов. Так был изобретен телескоп. На рисунке 13 показана схема расположения стекол, позволяющая использовать их оптические свойства. Разумеется, телескопы направляют на предметы, которые находятся от первой линзы на гораздо большем расстоянии, чем двойное фокусное; поэтому аппарат создает маленькое изображение между своей точкой ƒ (на рисунке — ƒ'ob) и 2ƒ. Это изображение можно зарегистрировать фотоаппаратом. Цель объектива — уловить удаленный предмет и разместить его изображение перед второй линзой, окуляром, которая действует как увеличительное стекло. Она располагается так, что изображение, порожденное объективом, попадает в третью область (между окуляром и его фокусом, ƒoc), и на его основе создается во много раз увеличенное мнимое изображение. На рисунке 14 (см. стр. 36) можно увидеть траекторию лучей. Объектив порождает точки A' и B', которые попадают в третью область окуляра, а он, в свою очередь, порождает мнимое изображение с точками A" и B".

АБЕРРАЦИЯ СВЕТА

Из-за аберрации сферическая линза не направляет все параллельные лучи света, попадающие на ее поверхность, к одной точке, и изображения получаются размытыми.

Чтобы повысить четкость картинки, необходимо скомбинировать отклонения, вызываемые рефракцией, с теми, что вызывает сама поверхность линзы. Край округлого стекла направляет лучи, проходящие близко от его центра, к одному фокусу.

Но по мере приближения лучей к краю линзы их расхождение растет. Для того чтобы стеклянная линза формировала изображения без сферической аберрации, ее контур должен иметь вид не окружности, а эллипса или гиперболы. В эпоху Гюйгенса уже существовали технологии, позволявшие производить линзы именно такой формы. Однако природа гораздо изобретательнее, чем человеческий разум, и, например, в глазах трилобитов, морских членистоногих, живших более 300 миллионов лет назад и уже вымерших, были собраны все типы линз, которые впоследствии изображал Декарт. В основе хроматической аберрации лежит другая причина. Проходя через линзу, белый свет распадается на цветной веер, как если бы он проходил через призму. Таким образом, лучи рассеиваются, создавая размытое изображение.


TRAITE
DE LA LVMIERE.
Où sont expliquées
Les causes de ce qui luy arrive
Dans la REFLEXION, & dans la
REFRACTION.
Et particulierement
Dans l'estrange REFRACTION
DV CRISTAL D'ISLANDE,
Par C. H. D. Z.
Avec un Discours de la Cause
DE LA PESANTEVR.
A LEIDE,
Chez PIERRE VANDER AA, Marchand Libraire.
MDCXC

Обложка •Трактата о свете» Гюйгенса.

В этом труде содержатся чертежи линз, которые корректируют сферическую аберрацию.

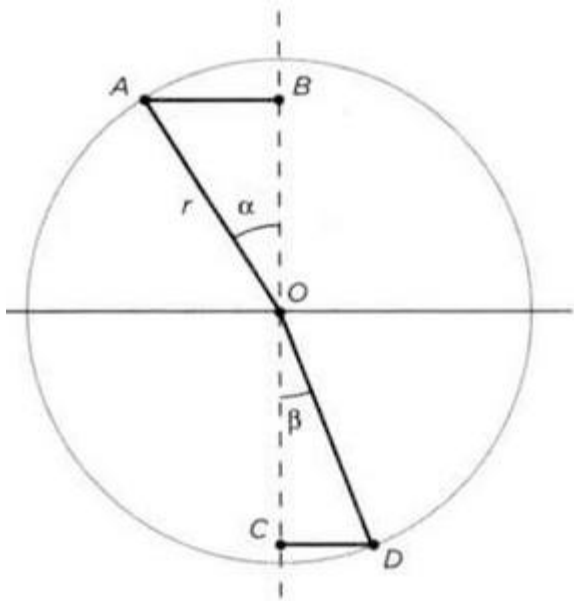
ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Закон рефракции был сформулирован уже в 984 году персидским ученым Абу Сахлом в его «Книге о поджигательных инструментах», но никто из европейских астрономов не

обратил внимания на этот труд.

В XVII веке закон был открыт вновь по меньшей мере три раза. В 1601 году это сделал Томас Хэрриотт, но он не опубликовал свои результаты.

В 1620 году Виллеброрд Снеллиус (или Снелль) повторил открытие, но рассказал о нем только узкому кругу счастливчиков, состоявших с ним в переписке. Декарт пришел к тем же выводам, что и его предшественники, в конце 1620-х годов. На сей раз он опубликовал статью на эту тему в одном из приложений к своему «Рассуждению о методе». Поскольку Декарт прожил некоторое время в Нидерландах, многие патриоты этой страны, в том числе и Гюйгенс, предполагали, что француз, воспользовавшись рассеянностью Снелля, успел прочитать его письма. Но это обвинение вряд ли можно считать правомерным. В любом случае, закон связан с именем Снелля.



Раньше всех остальных углы, которые образуют лучи света, проходящие сквозь поверхность воды, определил Птолемей. Он заметил, что при увеличении α увеличивается и β, при этом зависимость не была линейной. Птолемей не смог вывести математическую формулу, по которой, имея значение первого угла, можно вычислить значение второго. В своем «Трактате о свете» Гюйгенс использовал рисунок, приведенный выше, чтобы вывести закон о рефракции. На нем изображен луч света, проходящий через слой воздуха от A к O, где он касается горизонтальной поверхности стекла. Его

траектория образует угол α с воображаемой вертикальной линией. Пересекая границу сред, луч отклоняется и проходит через стекло по прямой линии под меньшим углом, β, от O к D. Чтобы установить взаимосвязь между α и β, достаточно провести окружность с произвольным радиусом r. Соотношение между длинами отрезков AB и CO будет постоянным для любой пары углов α и β и составляет примерно 1,52.

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{C'D'}} = 1{,}52$$

Для других пар сред это число будет своим. Так, при переходе от воздуха к воде оно равно 1,33. Соотношение между отрезками можно выразить на основе углов, используя тригонометрическую функцию синуса. По рисунку Гюйгенса,

$$\sin\alpha = \frac{\overline{AB}}{r} \text{ и } \sin\beta = \frac{\overline{CD}}{r}.$$

Таким образом, закон Снелля можно записать как
sin α/sin β = 1,52.
Это уравнение позволяет получить угол преломления любого падающего луча.

Обычно объективы имеют довольно большие размеры. Чем больше поверхность линзы, тем больше света она соберет: это необходимое условие для получения изображения объектов, от которых исходит очень слабый свет, таких как звезды. Окуляр же имеет большую толщину и изгиб, чтобы сократить фокусное расстояние, сильнее отклонить свет и получить большее увеличение. До сих пор мы говорили о линзе определенного типа — двояковыпуклой. Она относится к сферическим линзам, которые представлены на рисунке 15

(a — двояковыпуклая, b — плоско-выпуклая, c — плоско-вогнутая, d — двояковогнутая и e — выпукло-вогнутая). Существуют также параболические (f) и гиперболические (g) линзы.

Однако в природе лучи света ведут себя не так упорядоченно, как это изображается на рисунках. Телескопы с самого своего появления характеризовались сферической и хроматической аберрацией, и эти оптические дефекты снижали качество изображения.

Сферические линзы идеальны только в том случае, если лучи проходят через них вблизи от их центра с последующим сокращением поля зрения.

НА СЦЕНУ ВЫХОДИТ ГЮЙГЕНС

Изобретение телескопа не повлекло за собой автоматического подтверждения теории Коперника, но глубоко изменило аргументацию в спорах между противниками и сторонниками теории гелиоцентризма. Вселенная Аристотеля была построена на том, что человек мог видеть невооруженным глазом. То, что лежало вне этих пределов, описывалось с помощью удивительной комбинации логики и воображения. Греки высоко ценили сферические формы и потому считали, что Луна и планеты должны быть идеальными сферами. Одним из возражений против гелиоцентризма было то, что если Земля утрачивает свое центральное положение во Вселенной, почему же она сохраняет некоторые привилегии, например являясь единственной планетой со спутником? Начиная с 1610 года Галилей стал описывать настоящий облик Луны, с которого были сдернуты покровы тайны, наложенные расстоянием. Он разглядел ее кратеры и горы, а также открыл четыре спутника Юпитера. Телескоп безжалостно описывал новую Солнечную систему, опровергая тысячелетние теории, основанные на нехватке данных. Вдохновившись удивительными открытиями Галилея, Кеплер решил усовершенствовать телескоп. До того времени все улучшения делались методом проб и ошибок, но Кеплер не хотел ступать наугад. Он намеревался исправить недостатки линз и найти самые удачные их формы с помощью теоретических исследований, которые объяснили бы принцип их действия. К несчастью, для того чтобы прийти к успеху, ученому не хватало информации. Мы увидели, что, проходя от воздуха к стеклу, луч света отклоняется, но каково точное соотношение между углом падения и углом преломления, α и β? Ответ заключается в тригонометрической пропорции, законе Снелля, о котором Кеплер еще не знал в 1610 году, когда писал свой трактат «Диоптрика».

Я начал шлифовать обратную сторону неудачно: я взял слишком много воды вначале или не отшлифовал до нужного состояния. Мне удалось исправить ошибку, правда не до конца, шлифуя опять в нужной точке; но затем, продолжая работать, я опять все испортил.

Гюйгенс о процессе шлифования линз

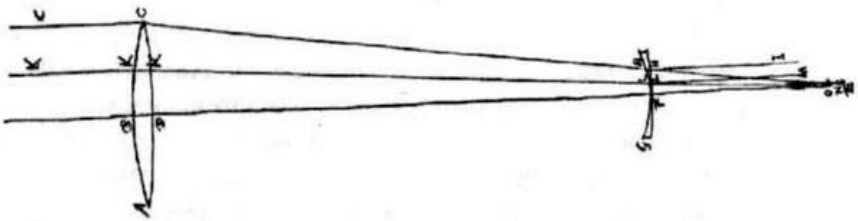


РИС. 16

Рисунки, представленные выше, позволяют качественно проанализировать формирование изображений. С этой же целью использовались и чертежи, которые Кеплер поместил в свою «Диоптрику». Лучи света искажаются, падая на линзы, но как именно? Кеплер ответил на этот вопрос, только измеряя отклонения опытным путем. В результате он не смог создать общую теорию, ведь для того чтобы исследовать каждый случай, надо было располагать линзами со всеми возможными изгибами контура. Для того чтобы получить общие результаты, позволяющие говорить о любом типе лучей и линз, необходимо было знать точное математическое соотношение между углами рефракции.

Считается, что Декарт пришел к соотношению Снелля самостоятельно в конце 20-х годов XVII века, хотя споры об этом ведутся до сих пор. Ученый выявил закон, который уравновешивал в одном уравнении углы и лучи света, физику и геометрию, однако сам он предпочитал математический подход. Затем Декарт применил уравнение к ряду весьма изящных вычислений, создав почти платоническую теорию того, какими должны быть идеальные линзы для телескопов: с контурами в виде эллипсов и гипербол, устранявших сферическую аберрацию. Ученый даже спроектировал станок для производства таких линз. К сожалению, в то время не было стекольщиков, обладавших нужным уровнем мастерства. Технологии того времени позволяли получить только сферические линзы.

Гюйгенс захотел воплотить мечту Декарта об идеальном телескопе, но на основе линз, производство которых было по плечу его современникам. Он впервые применил закон Снелля для того, чтобы точно вычислить фокусное расстояние и увеличение любой сферической линзы, определяя размеры, расположение и ориентацию изображений. Ученый смог изложить на бумаге результат, получаемый при использовании любых двух и более линз, не прибегая к постановке опытов.

Зная соотношение между α и β при переходе от воздуха к стеклу и геометрию линз, Гюйгенс осуществил амбициозный план

Кеплера и свел диоптрику к математической задаче. Заложив основы общей теории телескопов, ученый начал вводить в их конструкцию первые улучшения. Он рассчитал изгиб вогнутого окуляра для любого объектива, который, будучи расположенным на определенном расстоянии, полностью устранял сферическую аберрацию (см. рисунок 16). Но это был лишь частичный успех, поскольку такое парное устройство (выпуклый объектив с выгнутым окуляром) соответствовало телескопу, напоминавшему галилеевский. Начиная с 50-кратного приближения такие приборы дают слишком маленькое поле зрения, так что они почти бесполезны для астрономических наблюдений.

ФИЛОСОФ-РЕМЕСЛЕННИК

По мнению Бертрана Рассела, Барух Спиноза (1632-1677) был «самым благородным из всех философов». Еврейская община Амстердама не разделяла этого восхищения и летом 1656 года изгнала мыслителя за его «нечестивые действия и суждения». Таким образом, Спиноза, который после смерти отца отказался взять на себя руководство семейным предприятием (в области импорта-экспорта, как мы сказали бы сегодня), попал в деликатную ситуацию. Для того чтобы продолжать исследования по этике и богословию, он нуждался в средствах к существованию.

Наконец, Спиноза нашел занятие, больше всего подходившее его терпеливому характеру и удовлетворявшее его склонность к одиночеству, — речь идет о шлифовке линз. Однако в результате вдыхания стеклянной пыли у мыслителя начались серьезные проблемы с респираторной системой. Весной 1663 года он переехал в Ворбюрг, в дом художника Даниэля Тайдемана, который находился в пяти минутах ходьбы от Хофвика, загородного дома Гюйгенсов. Христиан Гюйгенс и Спиноза часто встречались, разговаривали об оптике и астрономии, а также с удовольствием критиковали Декарта. Христиан высоко ценил ремесленные навыки Спинозы, но не разделял его философских взглядов. Однако простим ученого: еще Лейбниц отметил, что Гюйгенс «не выказывал ни малейшего увлечения метафизикой». Со своей стороны, Спиноза восхищался научными достижениями Гюйгенса, но был совсем не в восторге от его техники шлифования: «Гюйгенс был и остается поглощенным шлифованием диоптрических линз и создал для этого машину,

достаточно точную, при помощи которой можно создавать линзы, помогая себе на токарном станке. Я пока не знаю, что он будет с этим делать, и меня это не сильно интересует. Опыт научил меня шлифовать сферические линзы вручную точнее и совершеннее, чем это может сделать любая машина».

Портрет Спинозы работы Франца Вульфагена, 1664 год.

Гюйгенс потратил два года на первую редакцию трактата, в котором на 100 страницах (плюс несколько дополнений) излагал свою интерпретацию диоптрики с математической точки зрения. На протяжении всей жизни он продолжал шлифовать этот манускрипт, словно работа была линзой, которую ученый вознамерился довести до идеала. Сделав самый полный вклад в теорию линз Кеплера и положив его в ящик письменного стола, Гюйгенс решил: пора переходить к действиям. Он был не вполне удовлетворен теориями Кеплера и Декарта, но еще меньше его устраивало качество оптических инструментов, которые можно было приобрести в то время. Линзы, предназначенные для очков или луп, были далеки от требований зарождающейся технологии

изготовления телескопов. С помощью своего брата Константина в 1654 году Гюйгенс начал шлифовать объективы и окуляры собственноручно. Это было нелегкой задачей. Прежде всего, ученый столкнулся с тем, что шлифовщики держали свои наработки в секрете. Новая техника позволяла мастеру выделиться на фоне других; следовательно, лучшим способом сохранить привилегированное положение было беречь открытие от конкурентов. Некоторые уносили свои тайны в могилу, как, например, знаменитый французский изготовитель телескопов Филипп-Клод Леба. Никому так и не удалось выведать у его вдовы секрет его линз. Во времена Гюйгенса обычно за основу брался кусок стекла, застывшего в некой форме.

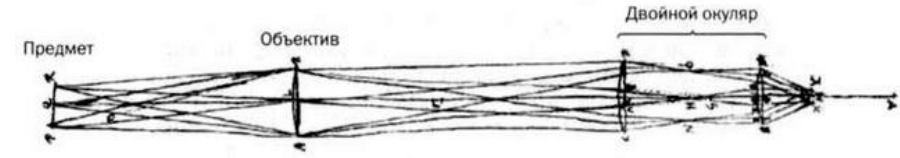


РИС. 17

Уже на этом этапе были заметны первые оптические дефекты: стекло могло быть окрашено железом, изображение искажали пузырьки и неоднородная плотность материала. Затем этому куску на станке с помощью абразивных порошков и других веществ придавалась линзовидная форма. Этап моделирования включал самый трудоемкий и деликатный процесс — шлифовку. Христиан даже спроектировал для этого специальный станок, но со временем передал основную работу мастерам, оставив за собой только финальную шлифовку линз для объективов.

Благодаря работе с линзами Гюйгенс расширил свои представления о диоптрике: иногда практика дает результаты, недоступные при изучении сухой теории. Среди них особого упоминания стоит удачная комбинация линз — окуляр Гюйгенса (см. рисунок 17), состоящий из двух линз, расположенных таким образом, чтобы расширить поле зрения, уменьшить аберрации и пятна, вызванные пузырьками или неровностями материала.

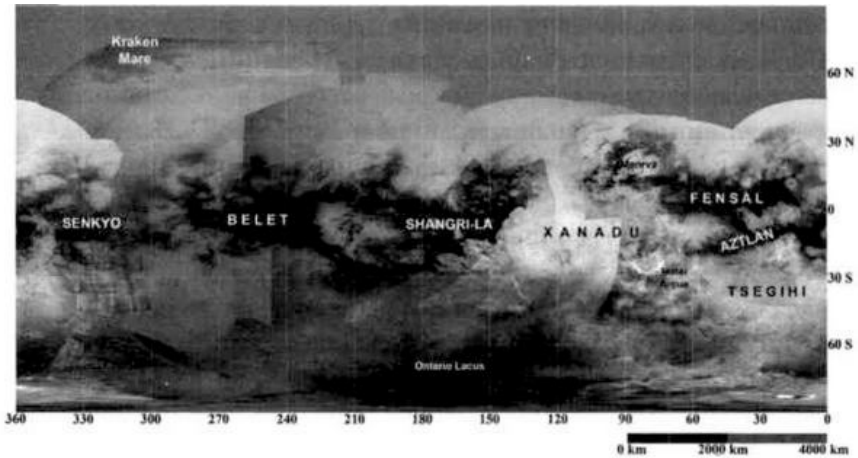
В марте 1655 года, через год усиленной работы, Константин и Христиан закончили собирать свой первый телескоп. Он имел 4 м в длину и увеличивал предметы в 43 раза. Гюйгенс впервые воспользовался устройством прямо на чердаке собственного дома. Когда наступила ночь, он распахнул деревянные ставни, разместил телескоп на подставке (скорее всего, ее роль выполняла обычная лестница) и направил прибор в небо. В XVII веке астрономам не приходилось покидать для наблюдений города, ведь светового загрязнения не было — улицы Гааги еще

не освещались фонарями, фарами машин или неоновыми вывесками, которые могли бы встать между Гюйгенсом и Вселенной.

Сначала Христиан рассмотрел самое близкое к нам небесное тело, Луну. Затем, вдохновленный свершениями Галилея, в поисках новых спутников он направил свой взор на Марс и Венеру. Его первый рисунок Сатурна, дошедший до наших дней, датируется 25 марта 1655 года. В тот вечер он заметил рядом с планетой яркую точку. Ночь за ночью он следил за ней, и 16 дней спустя точка вернулась на свое место: это был спутник, завершивший оборот по орбите. Удача была на стороне

СКРЫТАЯ ПЛАНЕТА

Христиан Гюйгенс ни разу не использовал название Титан для обозначения открытого им спутника Сатурна — это имя дал небесному телу английский астроном Джон Гершель (1792-1871). Титан оказался таким же загадочным, как и планета, вокруг которой он вращался. Из-за навязчивой идеи поиска жизни в космосе спутники долгое время считались второстепенными небесными телами. Однако после того как было обнаружено, что на Титане самая плотная атмосфера в Солнечной системе после Земли, воображение астрономов разыгралось. Некоторые даже называли спутник «планетой в маске». Писатели-фантасты Айзек Азимов, Роберт Хайнлайн, Филип Дик, Курт Воннегут, Артур Кларк и Станислав Лем населили самый большой спутник Сатурна роботами и чудищами-инопланетянами. В реальности же, согласно данным, полученным с помощью космических зондов, все гораздо более прозаично, но не менее захватывающе. Помимо Земли, Титан — единственное небесное тело в Солнечной системе, на поверхности которого присутствуют массы воды, озера и долины с реками, в которых, правда, течет не вода, а жидкий углеводород. Метан и этан меняют свое состояние, испаряются, конденсируются в облака и опять выпадают на поверхность в виде дождя. Спустя семь лет космического полета, 25 декабря 2004 года, от зонда «Кассини» отделился аппарат с автоматической станцией «Гюйгенс». А 14 января он коснулся Титана, став, таким образом, первым плодом человеческих рук, достигнувшим такого удаленного от Земли места.



Карта Титана, состоящая из фотографий, сделанных космическим кораблем «Кассини» в 2009 году.

Гюйгенса: он проводил свои наблюдения в тот момент, когда кольцо Сатурна практически исчезло и не затмевало своим блеском область вокруг планеты.

Первые восемь спутников Сатурна были открыты в подобные периоды, когда кольца видны с ребра, то есть их широкая поверхность не отражает свет Солнца и не направляет его к Земле. Это кратковременное явление наблюдается один раз в 14 лет.

Но не все можно объяснить простой удачей. Когда Гюйгенс был еще подростком, другие астрономы видели рядом с Сатурном эту же яркую точку, но принимали ее за звезду. Гюйгенс же настойчиво следил за траекторией небесного тела вокруг планеты (за 4 года он зарегистрировал 68 циклов) и точно зафиксировал длительность периода его обращения. Впоследствии спутник был назван Титаном. Юный Христиан при помощи своего телескопа сделал самое крупное астрономическое открытие после Галилея.

В июне он отправил нескольким избранным, с которыми состоял в переписке, стих из «Фастов» Овидия, к которому добавил несколько букв: «Admovere oculis distantia sidera nostris vvvvvvv ccc rr hnbqx» («Наш взгляд приблизился к далеким звездам»). Те, кому пришло бы в голову переставить буквы, получили бы менее поэтичную по форме, но не менее интересную по содержанию фразу: Saturno luna sua circunducitur diebus sexdecim horis quatuor («Спутник Сатурна обращается вокруг себя за 16 дней и четыре часа»). Гюйгенс сообщил разгадку этого шифра спустя почти год.

В начале июля ему пришлось прервать наблюдения и подчиниться приказам отца. Константин хотел, чтобы сын поехал

в Анжерский университет и получил звание doctor utriusque juris, то есть «доктора по обоим правам» (гражданскому и церковному). Поездка была простой формальностью. Христиану не надо было тратить время на то, чтобы запомнить содержание объемистых томов по юриспруденции, — его отец уже выкупил диплом за небольшую цену в 50 флоринов.

Юноша воспользовался этой поездкой, чтобы побывать в Париже, где он провел четыре месяца. Его первые впечатления от города не включило бы в свои каталоги ни одно туристическое агентство. Вскоре после приезда Христиан писал своему старшему брату:

«Я еще не успел познакомиться ни с поэтами, ни с музыкантами и довольствуюсь прогулками с моими спутниками по грязным улицам, испускающим ужасный запах, ибо жители выливают содержимое своих ночных горшков из окна, всего лишь выкрикивая: «Осторожно, вода!» [...] У меня есть собственная комната, покрытая коврами от пола почти до потолка. На чердаке живут мыши и крысы, часто спускающиеся ко мне с визитом. Имеются и клопы, которые ночью причиняют мне множество неудобств: у меня весь лоб и руки покрыты их укусами».

Во время посещения замка Фонтенбло Христиан развлекался тем, что кормил крошками хлеба толстых карпов. Чтобы отвлечься от ночных атак клопов, он постоянно думал над загадкой, не дающей покоя лучшим астрономам Европы.

ГЛАВА 2
Загадка Сатурна

Сатурн оказался одной из самых сложных загадок нового космоса, постепенно открывающегося с помощью телескопов. Эта многоликая планета не давала покоя астрономам с того самого момента, как на нее обратил внимание Галилей в 1612 году. А 40 лет спустя молодой Гюйгенс предложил простое, изящное и совершенно неожиданное решение.

Как оказалось, Париж — это не только крысы, клопы и уличное зловоние. Гюйгенсу удалось встретиться здесь с музыкантами и поэтами, знакомства с которыми он так искал. Христиан так описывал причины, по которым его спутники, в том числе младший брат Лодевейк и кузен Луи Дубле, мечтали посетить столицу Франции:

«Один заявил, что приехал, чтобы научиться вести себя в благородном обществе; второй — чтобы познакомиться со знаменитостями; третий, напротив, интересовался красивыми зданиями и последней модой; четвертый просто хотел уехать подальше от дома. После долгих споров, часто довольно жарких, мы почти единодушно пришли к выводу, что, хотя здесь и большие заработки, они не стоят того, чтобы преодолевать такое огромное расстояние».

Из-за общего юмористического тона письма в нем не упоминалась пятая причина, которая и была вознаграждением за тяготы 500-километрового путешествия. Гюйгенс попал в Париж эпохи Grand Siecle — Великого века, когда как раз вошли в моду так называемые салоны. Однако наряду с литературными вечерами маркизы де Ментенон и мадемуазель де Скюдери свои собрания устраивали и ученые. Благодаря рекомендациям отца Христиан был введен в кружки Клода Милона и Абера де Монмора, которые впоследствии стали основой полноценных научных организаций с продуманной структурой и большими ресурсами, таких как Французская академия наук. В Королевской библиотеке, включавшей почти 20 тысяч томов, Гюйгенс познакомился с поэтом Жаном Шапленом, астрономами Адриеном Озу, Исмаэлем Буйо и Жилем Робервалем. Члены этой группы беспокойных искателей именовали друг друга самым благородным, по их мнению, титулом — математиками.

Всем известно, что секрет успешной карьеры заключается в

полезных связях. Это правило работает и сейчас, а уж в научном сообществе XVII века, когда не существовало профессиональных журналов и главным источником информации служила переписка, оно было еще более безотказным. Личные знакомства имели огромное значение, так как позволяли быть в курсе последних открытий и исследований. Часто большие трактаты включали страницы, которые до этого пересылались по почте и успели пересечь пол-Европы. Переписываясь друг с другом, ученые исправляли ошибки, делились трудностями и рассказывали о своих гипотезах. В этих письмах упоминались самые разные новости, говорилось, что получателю или его знакомым были высланы такие-то книги или высказывались просьбы о пересылке работ, которые невозможно было получить другим способом. Один из самых ярких примеров такой переписки, больше похожей на совместное исследование, мы видим в письмах, которыми обменивались Блез Паскаль и Пьер Ферма. В четыре руки они создали основы современной теории вероятностей, отталкиваясь от задачи, которую поставил перед Паскалем Антуан Гомбо, или, как он себя называл, шевалье де Мере. Скорее всего, Гюйгенс узнал об этой задаче во время своего первого путешествия в Париж. Научные загадки притягивали его, как магнит, и юноша тут же задумался о решении. При этом Гюйгенс самостоятельно пришел ко многим выводам, уже сделанным Паскалем и Ферма, а также сформулировал оригинальные идеи, которые изложил со свойственным ему изяществом в работе De ratiociniis in ludo aleae («О расчетах в азартной игре»).

НЕНАСТОЯЩИЙ РЫЦАРЬ И ЯНСЕНИСТ

Французский математик Симеон Дени Пуассон (1781-1840) считал, что в основании теории вероятностей лежала «задача, связанная с азартными играми, которую задал светскому льву суровый янсенист». В результате этого необычного сотрудничества появилась новая область математики. Светским львом был шевалье де Мере (это скорее прозвище, чем титул), а в качестве сурового янсениста выступал Блез Паскаль. Задача же осталась в истории под названием задачи о разделении ставок и звучит следующим образом.

Двое игроков начинают азартную игру, в которой имеют одинаковые шансы на выигрыш. Они делают одинаковые

ставки, выигрыш должен достаться победителю — тому, кто первым выиграет определенное количество партий подряд. Если вдруг игру придется прервать, как должны действовать игроки, чтобы разделить деньги наиболее справедливым образом?

Портрет Блеза Паскаля.

На сцену выходит Гюйгенс

Шевалье де Мере вдохновил еще более интенсивные исследования, предложив и смежные задачи. Так же поступили Паскаль, Ферма и многие другие, кому был известен предмет переписки. Не стал исключением и юный Христиан Гюйгенс. Каков был его вклад? Споры об этом ведутся до сих пор. Мы же приведем его собственные слова из письма к ван Схотену, которым открывался его труд «О расчетах в азартной игре»: «Необходимо заявить, с другой стороны, чтобы никто не приписал мне честь первого открытия, которая мне не принадлежит, что некоторые знаменитейшие математики Франции уже давно занимаются такими вычислениями. Однако эти мудрецы, хоть и бросили себе вызов и предложили множество очень сложных задач, держат свои методы решения в тайне. Поэтому мне пришлось самому исследовать весь этот предмет…» На сей раз Гюйгенс не стал тянуть с публикацией работы, как это бывало в других ситуациях, когда он из-за своей медлительности подчас терял право на первенство. Между его путешествием в Париж и изданием книги, которую он отправил ван Схотену в мае 1656 года, прошел всего год. Более полувека она оставалась

единственным изданием по теории вероятностей. Таким образом, Гюйгенс заполнил большой пробел по этой теме, и его работа заняла место между первыми пробами Кардано и Галилея и великим трудом Ars Conjectandi («Искусство предположений») Якоба Бернулли.

Константин открыл перед сыном все возможности для того, чтобы тот попал на дипломатическую службу, однако Христиан нашел другое применение полезным связям. Его открытие Титана произвело фурор в Париже, и когда Жан Шаплен стал уговаривать ученого опубликовать его, тот не стал возражать. Тем не менее Гюйгенса терзали сомнения, которые преследовали его на протяжении всей научной карьеры: он считал, что работа была неполной. Разве можно считать трактат о Сатурне законченным, если в нем не раскрыта тайна его удивительной многоликости?

ТРИ ЛИЦА САТУРНА

Телескоп не только помог заложить основы новой модели космоса, но и способствовал появлению неожиданных головоломок. Загадку Сатурна в течение почти полувека пытались отгадать самые выдающиеся астрономы.

В марте 1610 года был опубликован революционный труд Галилея Sidereus nuncius («Звездный вестник»), который, однако, не стал последним в списке достижений пизанского ученого. В августе того же года он написал Кеплеру письмо, в котором содержалась сложная анаграмма: Smaismrmilmepoet aleumibunenugttaviras. Кеплер приложил все силы для расшифровки. Какое же новое небесное чудо открыл Галилей? Он был настоящим охотником за спутниками, а Кеплер создал теорию, согласно которой у Марса их должно было быть два. Кеплер переставлял буквы и так и сяк, пока не получил осмысленную фразу: Salve umbistineum geminatum Martia proles («Привет вам, близнецы, порождение Марса»). Выходит, Галилей увидел те два спутника Марса, которые искал Кеплер? На самом деле немецкий астроном немного схитрил и поменял одну из букв: n у него превратилась в гласную и, которой ему не хватало. Правильным ответом была фраза: Altissimum planetam tergeminum observavi («Отдаленнейшую из планет наблюдал тройную»). Сатурн был наименее яркой планетой и самой далекой из всех, которые можно видеть невооруженным глазом. Более откровенным, нежели с Кеплером, Галилей был с великим

герцогом Тосканским Козимо И. Он не испытывал терпение сановника шифрованными посланиями, а ясно рассказал об увиденном:

«Я... открыл еще другое необычайнейшее чудо: [...] звезда Сатурна не является одной только, но состоит из трех, которые как бы касаются друг друга [...], причем средняя из них примерно в три раза больше, чем две боковые; и они расположены в форме оливы».

Галилей надеялся, что облик этих трех небесных тел будет меняться с течением времени, так как спутники должны двигаться по своей орбите вокруг Сатурна. Но, к его великому удивлению, боковые тела оставались неподвижными. В одном из последующих писем Кеплеру Галилей назвал их «покорными служителями этого старика [Сатурна], которые следят за каждым его шагом и никогда не отдаляются от него». Кеплер предложил другое объяснение этому удивительному открытию. Это могли быть не спутники, а три части единой планеты: «Я не считаю Сатурн стариком, а сферы, которые его сопровождают, его служителями; что же касается этой трехчастной формы, я приписываю ее Гериону». (Герион был гигантским чудовищем, состоящим из трех тел, мифологическим противником Геракла в одном из его 12 подвигов.)

Поскольку расположение частей этой системы не менялось, Галилей занялся исследованием пятен на Солнце. Можно сказать, что Сатурн воспользовался тем, что ученый отвлекся, и осуществил свою первую «мутацию». Когда через некоторое время Галилей вновь обратил свое внимание на эту планету, то был чрезвычайно удивлен:

«В этом году [1612], около солнечного равноденствия, я опять наблюдал три тела Сатурна. После того как я потерял его из вида более чем на два месяца, будучи убежденным в его постоянстве, я опять решил понаблюдать за ним несколько дней тому назад.

На сей раз я увидел его в одиночестве, без поддержки его второстепенных планет, и более того, он был абсолютно круглым и ясно очерченным, как Юпитер. Что можно сказать об этом необычном превращении? Что две эти меньшие звезды исчезли, как это бывает с пятнами на Солнце? Сатурн съел своих детей?»

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ШИФРЫ

В XVII веке среди астрономов распространился любопытный способ, которым они обеспечивали свое первенство какого-либо открытия, если оно считалось еще не готовым для публикации. Открытие записывалось в одной фразе, а затем ее буквы переставлялись так, что смысл было невозможно понять. В таком виде фразу вставляли в письмо авторитетным коллегам. Если открытие не подтверждалось, головоломка так и оставалась без разгадки. Если же догадка оказывалась верной, автор открывал решение и обнародовал дату первого письма, важную для установления первенства. Галилей был виртуозом подобных словесных игр и обычно писал анаграммы, то есть и исходная фраза, и шифр имели смысл. Например, в сентябре 1610 года он написал Кеплеру письмо со словами: Haec immatura a me iam frustra legentur o.y. («Эти незрелые буквы зря я читал: о, у»), что означало: Cynthiae fi guras aemulatur mater amorum («Мать любви подражает видам Цинтии). Под Цинтией Галилей имел в виду богиню Луны, родившуюся на горе Цинто. Матерью любви была Венера. Смысл фразы состоял в том, что у Венеры были такие же фазы, как и у Луны. Гюйгенс восхищался Галилеем, но сам не слишком увлекался такими играми. Чтобы зашифровать открытие Титана, Христиан просто взял цитату из Овидия и добавил к ней недостающие буквы.*

Удачные ошибки

У Кеплера был настоящий талант неправильно интерпретировать загадки Галилея. Мы уже упомянули, как однажды ученый решил, что Галилей наблюдал два спутника Марса (впрочем, у этой планеты действительно оказалось именно два спутника, Фобос и Деймос, которые были открыты два столетия спустя, в 1877 году). А анаграмму Галилея, в которой тот зашифровал сведения о Венере, Кеплер прочел как Macula rufa in Jove est gyratur mathem, etc., то есть: «На Юпитере есть красное пятно, которое движется матем (этически)»». Правда, Кеплер добавил несколько недостающих букв и убрал лишние. В этот раз его ответ также был неправильным, но, тем не менее, ошибка Кеплера сама по себе ошибкой не являлась: в 1665 году на Юпитере действительно было замечено Большое Красное Пятно.

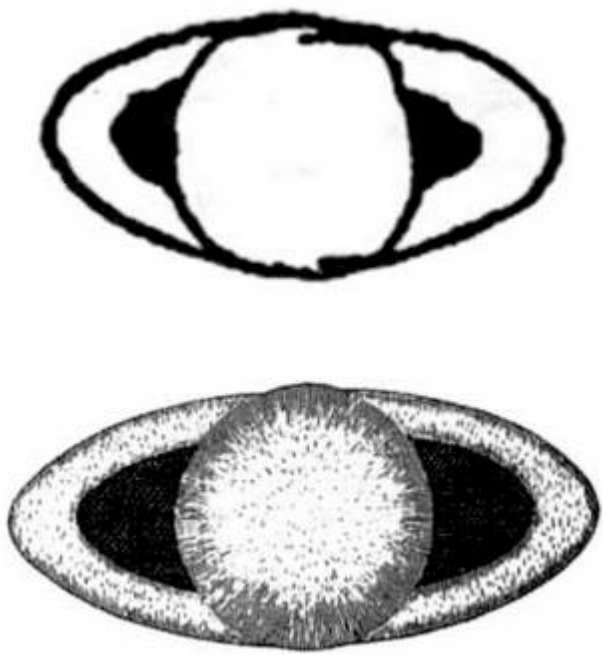
ea quam dixi annuli inclinatione, omnes mirabiles Saturni facies ſicut mox demonſtrabitur, eo referri poſſe inveni. Et hæc ea ipſa hypotheſis eſt quam anno 1656 die 25 Martij permixtis literis una cum obſervatione Saturniæ Lunæ edidimus.

Erant enim Literæ aaaaaaaccccccdeeeeegh iiii

оставались неподвижными, а потом вдруг пропадали? Летом 1616 года Галилей вновь направил телескоп на эту далекую планету, желая проверить, как проходит метаморфоза от трех тел к одному. И ему открылась совершенно неожиданная картина.

Теперь у Сатурна было две рукоятки по бокам, как если бы он был кубком, поднятым к небесам. По рисунку, на котором ученый изобразил наблюдаемую картину, можно предположить, что он разгадал ее тайну, нарисовав кольцо. Но детальное описание, сделанное для кардинала Федерико Борромео, показывает, что это было не так:

«[Оба спутника Сатурна] больше не представляют собой две идеальные сферы, как раньше, но два очень крупных тела, и не являются круглыми, как показано на прилагаемом рисунке, но похожи на два полуэллипса с двумя маленькими темными треугольниками посередине, которые касаются центральной сферы Сатурна, каковая, как и всегда, предстает идеально округлой».



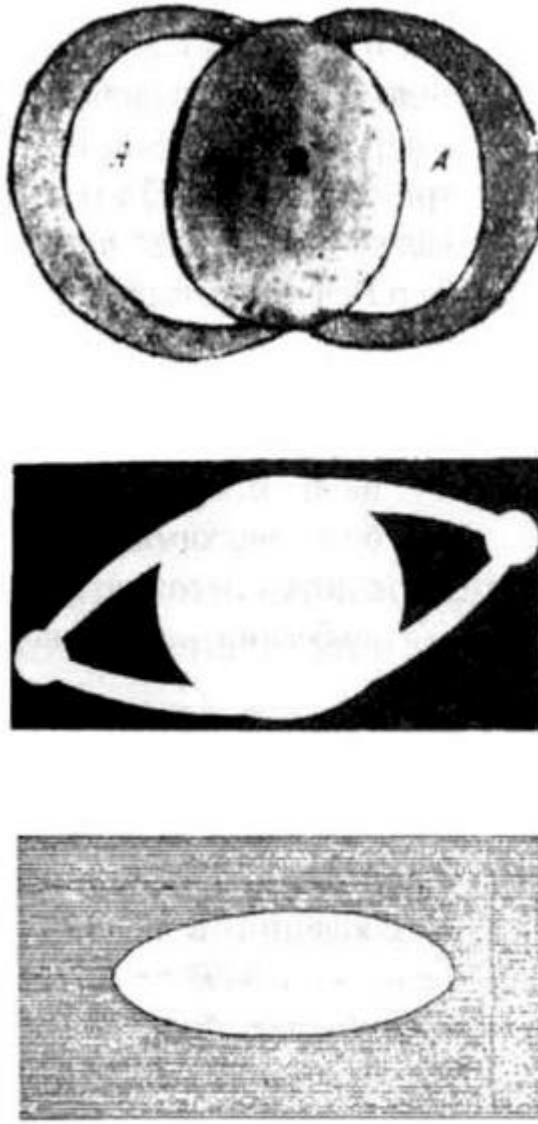
Два рисунка Сатурна работы Галилея(вверху) и Эустакио Дивини.

Впоследствии Галилей прибегал к разным терминам, чтобы описать увиденное, в частности он называл эти формы «митрами», но всегда говорил о паре «придатков». Последующие наблюдения, проводимые с помощью более сильных телескопов, казалось, давали очевидный ответ. Рассмотрим, например,

гравюру, сделанную итальянским изготовителем телескопов Эустакио Дивини в 1649 году, когда кольцо Сатурна было видно лучше всего. По этим рисункам видно, что, интерпретируя информацию, полученную от органов чувств, мозг не ведет себя как беспристрастный судья — важнейшую роль играют наши ожидания и предубеждения.

ЛОЖНЫЕ СЛЕДЫ

Сатурн славится самым длинным орбитальным периодом — примерно 29 с половиной лет. После того как Галилей привлек к этой планете всеобщее внимание, в течение нескольких десятилетий астрономы увеличили количество наблюдений. Это позволило подтвердить прежние данные, но привело и к появлению ложных следов, так как используемые линзы сильно отличались по качеству, для них не существовало никакого единого стандарта, и результат наблюдений зависел от умений мастера и субъективного восприятия наблюдателя. Галилей и сам отмечал, что там, где один телескоп показывал слегка овальную фигуру, другой инструмент, с большим разрешением, выявлял три сферы. Некоторые далеко не совершенные изображения Сатурна одобрялись авторитетными астрономами, и оспорить их истинность после этого было непросто.



Результаты трех наблюдений Сатурна. Два верхних сделаны астрономом Фонтана в 1638 и в 1645 годах, нижний — Гассенди в 1634 году.

В течение первых десятилетий XVII века астрономы не видели кольца вокруг Сатурна не только из-за низкого разрешения телескопов, но и потому, что никто из них не ожидал увидеть в небе подобную фигуру. Сегодня мы знаем, что экватор Сатурна опоясан диском, следовательно, глядя на размытое изображение или на простой набросок, мы можем восполнить пробелы и «увидеть» кольцо, как этого и ожидаем.

Даже если Сатурн действительно имеет три воплощения —

как одно тело, как три отдельных тела и как одно центральное тело с двумя рукоятками по бокам, — никто не мог представить совокупность масс, которая последовательно принимала эти три облика. В 1658 году, за год до того, как Гюйгенс опубликовал свой труд Systema Satumium, ученый и архитектор Кристофер Рен с некоторой растерянностью описывал положение дел:

«Лишь Сатурн отдаляется от нормы остальных небесных тел и являет нам настолько противоречивые фазы, что мы до сих пор не знаем, является ли он единой сферой, контактирующей с двумя более мелкими, или сферой с двумя большими впадинами, или с двумя пятнами, или походит на некий сосуд с двумя ручками по боками, или же, наконец, имеет какую-либо другую форму».

Гюйгенс уже открыл обычный спутник у этой необычной планеты. Сможет ли он решить и парадокс о ее многочисленных обликах? В ноябре 1665 года ученый уехал из Парижа обратно в Гаагу и сразу же возобновил свои астрономические наблюдения. К несчастью, в тот момент «ручки» уже почти исчезли, и вскоре Сатурн показал Христиану свой самый загадочный облик — сферу. Тем не менее в письме, датированном 8 февраля 1656 года, ученый утверждал, что нашел причину изменений планеты. Таким образом, он разгадал тайну Сатурна вслепую, в период, когда кольца не было видно. Поскольку ни один телескоп не мог показать его, Гюйгенсу пришлось воспользоваться зрением разума.

РАЗГАДКА ТАЙНЫ

В середине марта 1656 года была отправлена в печать статья De Satumi luna observatio nova («Новые наблюдения спутника Сатурна»), в названии которой уже заявлялось об открытии Титана. В этой небольшой работе на двух страницах Гюйгенс предсказывал, что «ручки» планеты должны появиться вновь в апреле того же года. Он также заявлял, что решил парадокс трех обликов Сатурна, и предлагал другим ученым выдвинуть свои предположения, которые могли бы опровергнуть его. Гюйгенс спрятал разгадку в анаграмме: aaaaaaaccccccdeeee eghiiiiiiiillllmmnnnnnnnnnnoooooppqrrsttttttu u u u и, «чтобы, если кто-то найдет такое же решение, как мое, он успел его обнародовать и чтобы нельзя было сказать, что он воспользовался моими мыслями или что я воспользовался его».

Этот вызов, вместе с ошеломляющей новостью об открытии Титана, возродил интерес к задаче, которую не смог решить даже Галилей.

До сих пор Сатурн водит астрономов за нос, или, лучше сказать, насмехается над ними из ненависти или хитрости.

Иоганн Георг Лохер, студент Иезуитской академии Ингольштадта

Несмотря на весь энтузиазм, никто из астрономов так и не дошел до правильного ответа. Как в старых детективных романах, после того как были высказаны неверные объяснения, слово должен был взять Гюйгенс. Но поскольку ученый был занят созданием первых часов с маятником, он заставил себя упрашивать до лета 1659 года, когда наконец опубликовал свою Systema Satumium. В этой работе он излагал решение анаграммы: Annulo cingitur, tenui, piano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato («Кольцом окружен тонким, плоским, нигде не прикасающимся, к эклиптике наклоненным»). Эклиптика — это полезная координата для астрономов, определяющая положение земной орбиты.

Уже в ходе первых наблюдений в марте 1655 года Гюйгенс обнаружил важнейшую улику. Хотя «ручки» были едва видны, они не становились более короткими, хотя и утончались. Это навело ученого на мысль, что разница между тремя телами или ручками не объяснялась движением вокруг Сатурна какой-либо массы. Большая часть его аргументов основывалась на параллелизме между системами Луна — Земля и Титан — Сатурн. Земля вращается вокруг своей оси за один день, а Луна вокруг Земли — за 29 дней. Гюйгенс обратил внимание на эту разницу во времени и решил, что период обращения Сатурна вокруг своей оси тоже должен быть гораздо короче периода его спутника. Если Титан обращался вокруг планеты за 16 дней, то сама она должна была вращаться вокруг своей оси всего за 13 часов.

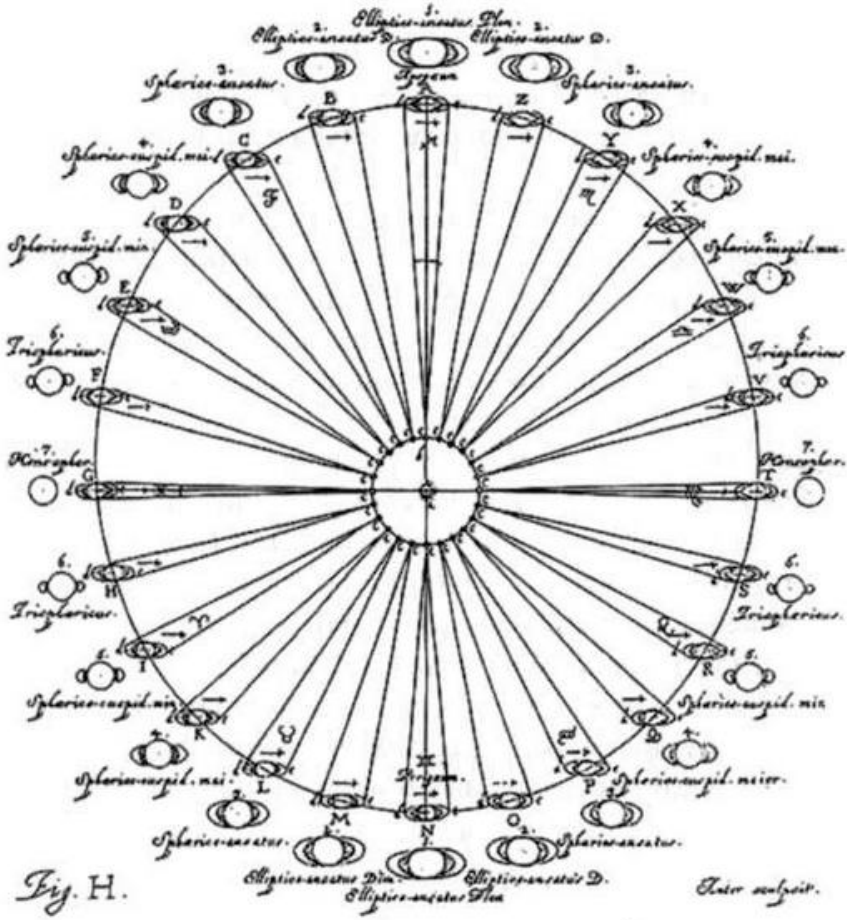
ОТВЕТЫ НА ВЫЗОВ

Первым принял вызов, брошенный Гюйгенсом в *Новых наблюдениях спутника Сатурна»(De Saturni luna observatio nova), знаменитый польский астроном Ян Гевелий. Он предположил, что Сатурн имеет яйцевидную форму, которая по бокам расширяется в виде растущей и убывающей луны. В

совокупности вся эта конструкция, если смотреть на нее сбоку, имеет округлый контур. Когда она вращалась, как показано на рисунке, то облик отдельной сферы легко сменялся телом с «ручками»». Но как же быть с тремя отдельными телами, которые наблюдал Галилей? По мнению Гевелия, их можно отбросить как простой оптический обман: «Следовательно, мы заключаем, что, хотя сферы, прилегающие к Сатурну, кажутся нам круглыми, они таковыми не являются». Это заявление звучало неубедительно для того, кто проводил ночные часы, пристально рассматривая планету и, как ни тер себе глаза, по-прежнему видел древних служителей Сатурна, имеющих такую же форму, как и их господин.

Так далеко, так близко

Другие теории, например выдвинутая немецким иезуитом Кристофом Шейнером, хоть и объясняли появление трех сфер или одной-единственной, предлагали очень натянутую аргументацию о том, что касалось «ручек». Одна из самых изобретательных версий принадлежит французскому математику Жилю де Роберваль. Он объяснял необыкновенную изменчивость Сатурна его более легкой материей, чем та, из которой обычно состоят планеты и их спутники. По его мнению, от экватора Сатурна поднимались клубы пара, которые постепенно становились все более плотными и, следовательно, более заметными. Когда такое плотное облако формировалось вокруг экватора, издалека планета напоминала эллипс. Когда облако рассеивалось, то оно как бы рисовало контур «ручек». Но ближе всех к истине оказался английский архитектор Кристофер Рен. Он предположил, что планету на экваторе окружал очень тонкий эллипсообразный венец.



Любая материя, расположенная между Сатурном и Титаном, должна вращаться по орбите за некое промежуточное время. Масса, сопровождающая Сатурн, независимо от своей формы должна была двигаться вокруг планеты с периодичностью, меньшей 16 дней. Однако у планеты уходило гораздо больше времени, чтобы завершить цикл известных на тот момент трансформаций, — около 14 лет. Гюйгенс решил, что если каждую ночь Сатурн вертелся, как юла, у него на глазах, но при этом с «ручками» не происходило никаких изменений, то их масса должна вращаться симметрично вокруг оси. Поворот ассиметричного тела, такого как человеческая рука, выявить легко. А вот по контурам сферы или цилиндра с абсолютно ровной поверхностью нельзя понять, вращаются ли они.

Из всех фигур, вращающихся симметрично, больше всего размытому изображению «ручек» соответствовало кольцо. Но

нужно было решить еще один вопрос. Если у кольца уходило всего несколько часов на то, чтобы обернуться вокруг оси, двигаясь симметрично, и при помощи телескопов с Земли нельзя было заметить это вращение, от чего же тогда зависели преобразования, происходившие каждые 14 лет? Ответ таился в градусе наклона кольца.

Плоскость кольца Сатурна образует угол 26,73˚ с плоскостью его орбиты (см. рисунок 1) — почти такой же, как угол между экватором Земли и ее орбитой (23,44˚). Учитывая, что линзы в телескопах были разного качества и имели разное разрешение, большинство фигур, которые видели астрономы, объяснялось простым наклоном кольца.

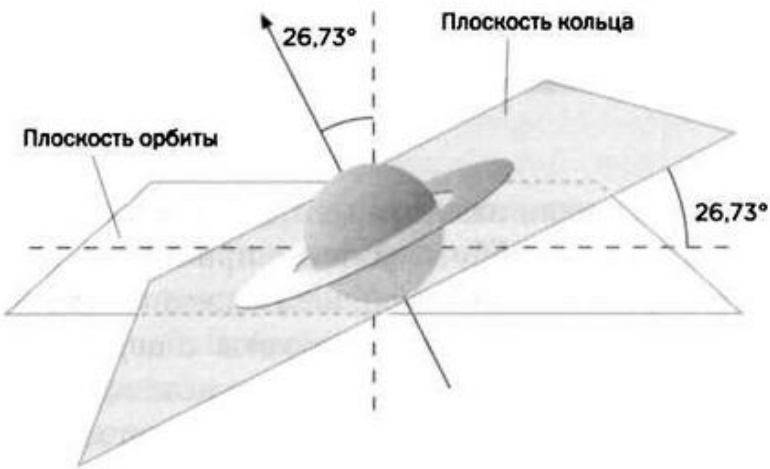


РИС. 1

Оставалось объяснить, в каком порядке сменялись эти фигуры вплоть до исчезновения кольца. Удобнее всего это было сделать, находясь на Солнце — с него открывается лучшая перспектива. С него мы увидели бы, что орбитальное вращение Сатурна похоже на вращение Земли. Хотя Сатурн и описывает более широкую дугу, оси вращения обеих планет наклонены под постоянным углом на всей их траектории.

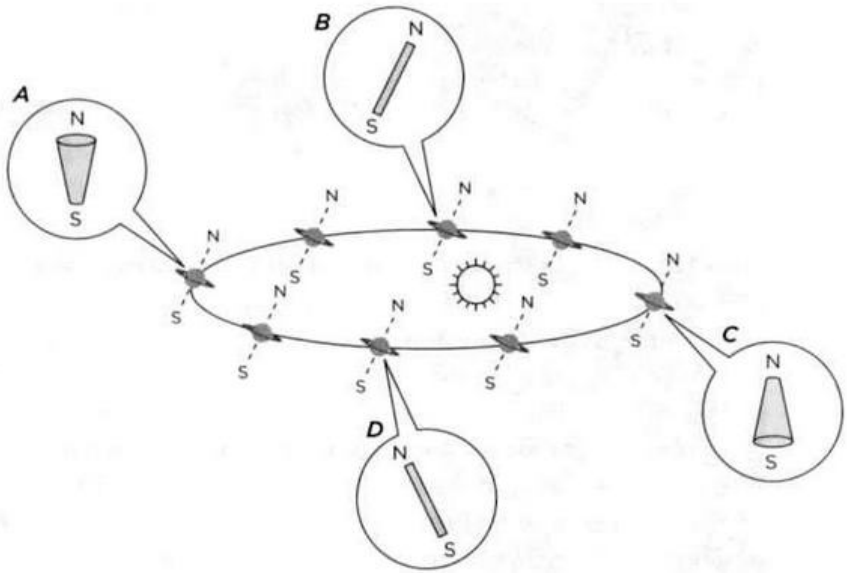


РИС. 2

Из-за этого гипотетический житель Солнца увидит, что иногда Северный полюс при движении планеты выходит вперед, иногда заходит назад, а иногда вообще оказывается сбоку (см. рисунок 2). По этой же причине на Земле меняются времена года. Благодаря наклону оси и на Сатурне бывает зима, весна, лето и осень. В зависимости от наклонов оси жители Солнца увидели бы кольцо снизу в позиции C и сверху в позиции A. В позициях B и D кольцо, будучи очень тонким, становилось бы невидимым. Учитывая огромное расстояние, отделяющее Сатурн от Солнца и Земли, с этих планет кольцо и Сатурн видны практически как единое целое. В общем, можно считать, что картина, видная с Солнца, видна и с Земли, хотя и с некоторыми оговорками. Во-первых, как мы уже знаем, ось вращения Земли также наклонена. Поскольку она почти параллельна Сатурну, его наклон будет казаться гораздо меньшим. Во-вторых, плоскость орбиты Земли не совпадает с плоскостью орбиты Сатурна: иногда она оказывается сверху, иногда располагается ниже (см. рисунок 3).

Все эти явления, к которым надо добавить низкое разрешение телескопов, и объясняют мутации Сатурна. В конце своей Systema Satumium Гюйгенс поместил рисунок, иллюстрирующий его гипотезу (см. стр. 67). Близорукий человек, разглядывая рисунки без очков, сможет увидеть на них недостающие облики планеты: три тела, «ручки» Галилея, приплюснутое яйцо.

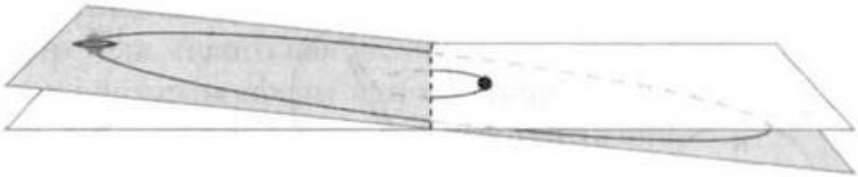


РИС.3

ЭЙФОРИЯ ОТ УСПЕХОВ

Несмотря на то что Гюйгенс раскрыл тайну многоликого Сатурна посредством логических рассуждений, свой успех он приписал техническому преимуществу своих телескопов:

«В этом исследовании мы просим, чтобы было признано, ибо мы первыми увидели в наши телескопы спутник Сатурна, и увидели ясно, чтобы наши телескопы считались превосходящими те, что, хотя и могут показать Сатурн в любой день, не были способны найти звезду [Титан]; и чтобы по той же причине результаты наших исследований по форме этой планеты считались более достоверными во всех тех случаях, что облик планеты, наблюдаемый нами, отличается от остальных».

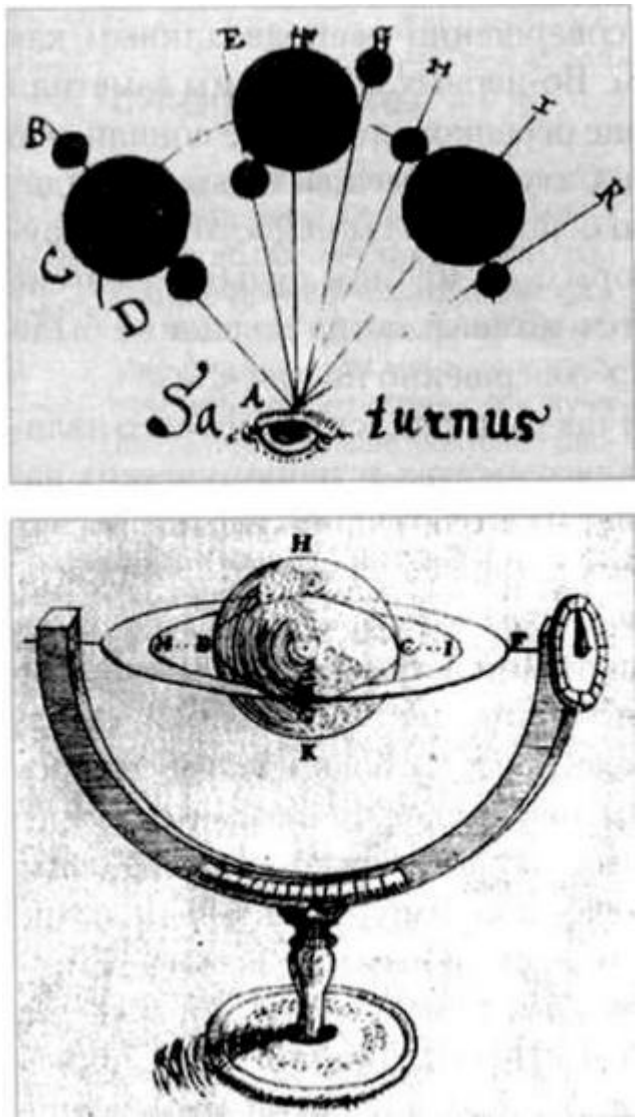


Рисунок модели Кристофа Шейнера из его Tractatus de Tubo Optico (вверху) и набросок модели Кристофера Рена, взятый из его De Corpora Saturni.

Гравюра, посвященная Гюйгенсу.

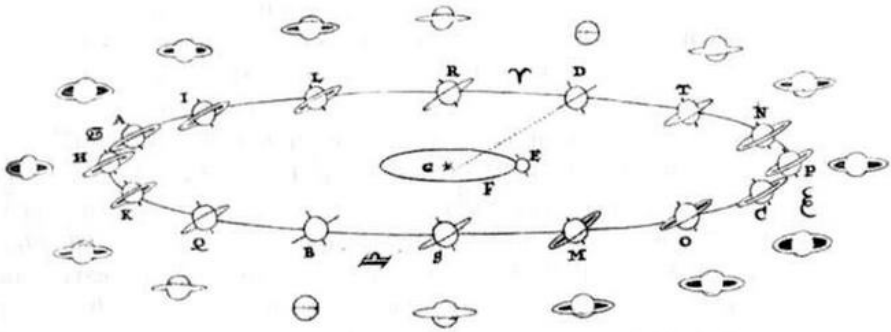


Схема Гюйгенса, описывающая полный цикл вращения Сатурна.

С Земли его кольцо иногда наблюдается сверху, иногда снизу. Между этими двумя периодами оно встает ребром, и тогда кажется, что оно исчезает.

Это требование было совершенно несправедливым как минимум по двум причинам. Во-первых, астрономы заметили Титан, когда Гюйгенс был еще ребенком, хотя и не поняли, что это небесное тело — спутник Сатурна. Следовательно, его удивительное открытие не было основано на мощности используемых инструментов. Во-вторых, по иронии судьбы, Гюйгенс разгадал тайну Сатурна в тот момент, когда кольца не были видны, то есть телескоп здесь совершенно ни при чем.

Тогда почему же ученый так им гордился? Гипотеза о наличии кольца основывалась на результатах астрономических наблюдений за последние 40 лет. Гюйгенсу пришлось отбросить многие из них — те, которые он справедливо считал ошибочными из-за плохого качества линз, хотя они были опубликованы более известными и опытными астрономами, чем он сам. И он решил завоевать авторитет, так ему необходимый, утвердив превосходство своего телескопа, которое подтверждалось и открытием Титана. Однако стратегия не принесла желаемого результата. Сомнения по поводу существования кольца основывались не на научных доводах, а на самолюбии. Критические замечания в основном звучали со стороны астрономов и ремесленников, репутация и заработки которых зависели от качества их инструментов. Это были, в частности, Дивини, считавшийся лучшим производителем телескопов в Европе, и Ян Гевелий. Дивини поставил под вопрос наблюдения Гюйгенса, приписав их оптическим дефектам. Он даже заметил, что голландскому ученому следовало бы приобрести один из его инструментов. Гевелий же был просто в ярости: «Видимо, Гюйгенс считает, что я и все остальные неспособны отличить сферу от эллипса, и что то [что я увидел] было плодом моего воображения... или что мне это приснилось? Да нет же, клянусь Геркулесом!»

Гюйгенс открыл правильную геометрическую форму кольца, но не его структуру. Он был уверен, что кольцо представляло собой твердый диск, непрерывный и довольно толстый. В противном случае как оно могло отбрасывать тень на поверхность планеты? До конца своих дней ученый считал, что диск имел почти 4000 км в толщину. Когда его спросили, каким образом ребро такого большого кольца могло исчезать, будучи освещено прямыми лучами Солнца, Гюйгенс ответил, что оно состояло из материала, не отражающего свет. Причину этой невидимости

открыл Кристофер Рен: диск был настолько тонким, «что его толщины не хватало для того, чтобы увидеть его с Земли, а потому корону [кольцо] можно было принять за поверхность планеты».

СУПЕРТЕЛЕСКОПЫ

Большие телескопы не являются изобретением XX века. Чем меньше изгиб сферической линзы, тем слабее проявляется эффект хроматической аберрации. Как мы уже видели, чем меньше изгиб, тем меньше отклоняются лучи света и тем больше фокусное расстояние линзы. Однако большое фокусное расстояние требовало от производителей телескопа как можно дальше разнести объектив и окуляр. Так началась гонка, связанная с созданием все более длинных телескопов.

Однако прочность и маневренность труб представляли некоторые ограничения. Установленные всего на одну опору, телескопы изгибались, ломались, а также смещались при ветре. Гюйгенс разрубил гордиев узел, просто убрав из конструкции трубу. На рисунке мы видим один из его воздушных телескопов, в которых объектив и окуляр вставлены в два коротких металлических цилиндра, соединенных натянутой веревкой. С ее помощью можно регулировать и высоту столба, на котором располагается объектив. Опора, поддерживающая линзу сверху, не двигается за счет противовеса. Ночью Гюйгенс пользовался лампой, чтобы определить положение объектива, ориентируясь по отражению света в стекле.

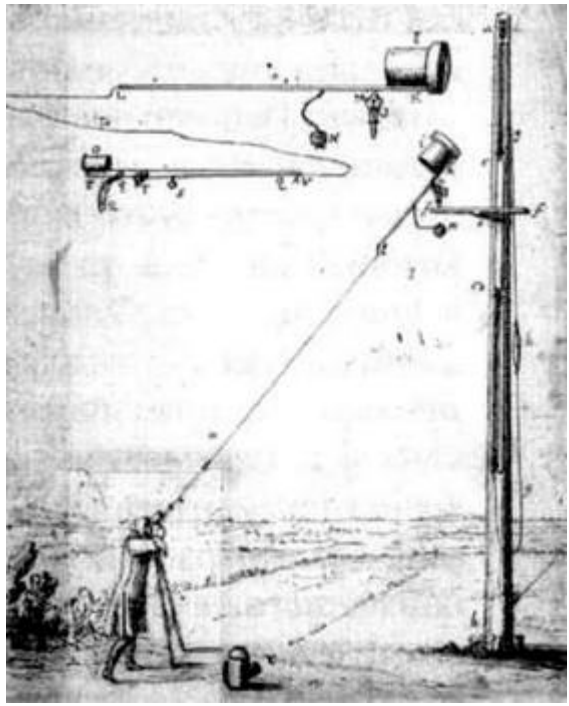


Рисунок одного из воздушных телескопов Гюйгенса.

Следуя примеру Галилея, которого Гюйгенс беспредельно уважал, он посвятил свою Systema Satumium выдающемуся члену семьи Медичи — Леопольду, сыну Козимо II. Он ожидал чего угодно, но только не того, что герцог оставит этот жест без ответа — а именно это и случилось. Леопольд невольно оскорбил ученого не потому, что был плохо воспитан, а из-за того, что Гюйгенс поставил его в затруднительное положение. Satumium, как и «Звездный вестник», написанный раньше Галилеем, относился к жанру гелиоцентрического трактата, который не очень-то жаловали в Ватикане. Двор Леопольда располагался во Флоренции — городе, куда более близком к Риму, чем особняк Гюйгенса в Гааге. Хотя Церковь и не заняла никакой официальной позиции по поводу открытия кольца Сатурна, влиятельный иезуит Оноре Фабри предложил альтернативное решение вопроса в рамках геоцентрической теории. Он мог рассчитывать на поддержку Эустакио Дивини, обиженного на Гюйгенса за то, что тот отрицал совершенство его телескопов. Вместе они написали трактат, в котором труд голландского ученого был полностью переработан. Назывался он Brevis annotatio in Systerna Satumium («Краткая аннотация к «Системе Сатурна») и был также посвящен Леопольду Медичи. Как и следовало ожидать, теория Фабри носила консервативный характер, исходя из нее спутников было

несколько. В ее первой версии у Сатурна было четыре спутника: два маленьких и не светящихся, два среднего размера и отражающих свет. Они вращались не вокруг планеты, а вокруг двух точек, расположенных за ней. Чтобы объяснить обнародованные результаты наблюдений, авторы прибегали к таким изощренным операциям с орбитами, какие Птолемею и не снились. Гюйгенс выдвинул несколько возражений, в ответ на это Фабри добавил еще два спутника.

Таким образом, Леопольд оказался под перекрестным огнем. В книге Фабри выдвигалась изощренная, но тем не менее геоцентрическая теория, а ее автор был уважаемым членом Церкви. Труд же Гюйгенса подтверждал строгую и любопытную теорию Коперника, но поскольку родиной автора были Нидерланды, он был окружен подозрительным ореолом кальвинизма. Гюйгенс опирался лишь на свои наблюдения и рассуждения, а его оппоненты применяли несколько техник убеждения, в частности одним из аргументов было то, что их теория не противоречит Священному Писанию и учению Церкви.

Звучали в тексте Фабри и прозрачные намеки на процесс над Галилеем. Герцог решил выйти из тупика, прибегнув к услугам собственной научной организации — Академии дель Чименто, одному из первых научных обществ Европы, которое сам Леопольд и основал. Разбираться в запутанном деле выпало экспертам.

Выполняя приказ Леопольда и отдавая дань уважения названию академии (cimento на латыни означает «опыт», «эксперимент». — Примеч. перев.), ее члены созвали комиссию, которая должна была рассмотреть оба варианта. Сначала были сделаны макеты моделей Гюйгенса и Фабри, которые стали изучаться с больших расстояний при помощи телескопов разного разрешения. Чтобы избежать влияния собственных убеждений на чистоту эксперимента, для описания наблюдаемых фигур были приглашены люди, не состоящие в комиссии. Модель Фабри правильно отразила только два облика Сатурна — в виде одного и трех тел, остальные формы по этой модели не соответствовали ничему, что наблюдалось в небе. Что касается модели Гюйгенса, она натолкнулась лишь на одно препятствие: сколько бы край кольца ни поливали поглощающими веществами, оно никак не исчезало, когда его освещали «Солнцем».

Исчез диск только тогда, когда его вырезали очень тонким и поставили ребром. Простая механическая модель подтверждала, таким образом, правоту Рена. Однако именно потому, что в ходе эксперимента победу одержал Гюйгенс, Академия дель Чименто так и не обнародовала свои выводы.

Тот, кто, как и Коперник, думает, что наша планета Земля вращается вокруг Солнца и освещается им, как и другие, не сможет избежать того, чтобы иногда не фантазировать […], что и остальные планеты имеют свое собственное устройство и могут быть населены, прямо как наша Земля.

Христиан Гюйгенс

Внеся небольшие изменения в свою модель, Гюйгенс предсказал последующие изменения Сатурна с точностью, не имеющей аналогов. Даже Фабри не мог отрицать очевидное. Перед тем как отказаться от своей теории, он даже любезно заметил, что, прочитав Systema Satumium, уже не мог не видеть кольцо всякий раз, глядя на Сатурн. Труд Гюйгенса расширил человеческие представления, и наш разум наконец-то смог различить на небосводе кольцо. Дивини оказался менее гибким и не признавал существования кольца до тех пор, пока не увидел его собственными глазами при помощи телескопа, сконструированного его братом.

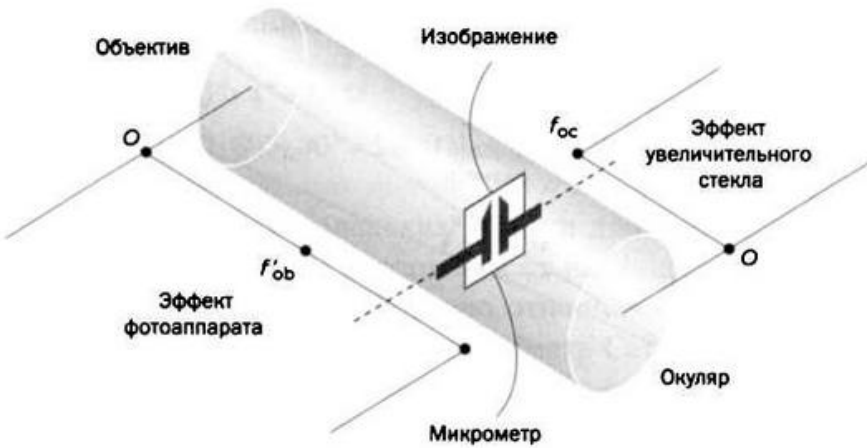
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕЛЕСКОПОВ

Поскольку объектив проецирует изображение внутрь телескопа, этим изображением можно манипулировать до того, как его увеличит окуляр. Гюйгенс использовал это обстоятельство, чтобы внести в конструкцию инструмента два важных улучшения. Галилей в свое время уже понял, что, прикрыв кружком бумаги край объектива (где скапливаются все дефекты ручной обработки линз и артефакты сферической аберрации), можно получить менее яркое, но более четкое изображение. Оптимальные размеры кружка он определил опытным путем, а Гюйгенс сделал то же самое, используя математический подход. При этом голландец обнаружил, что лучше помещать кружок не на сам диск, а на изображение, им порожденное. Таким образом частично исправлялась и хроматическая аберрация.

Микрометр

В начале 1640-х годов астроном-любитель Уильям Гаскойн

с удивлением увидел в свой микроскоп загадочную сеть, пересекающую поле его зрения. Он видел ее абсолютно четко, но, поднимая взгляд от окуляра, не мог эту сеть найти. Оказалось, что на поверхности, куда объектив проецировал изображение, сплел свою сеть паук. Окуляр увеличил и саму сеть, и ее изображение, сливая их воедино. Вдохновленный этой счастливой случайностью, Гаскойн решил заменить паутину устройством с двумя вертикальными полосами, разделенными градуированным расстоянием (см. рисунок), с помощью которого он мог бы измерять изображения, полученные с помощью телескопа. Так был изобретен микрометр. Гюйгенс тоже думал о похожем устройстве, но пришел к нему без помощи паука: ученому достаточно было глубоких знаний по диоптрике. Микрометр превратил телескоп в измерительный прибор. Если до этого астрономы могли высказывать только субъективные мнения о размерах небесных тел, и эти мнения очень сильно варьировались, то микрометр стал точкой отсчета. Уильям Гаскойн погиб в битве при Марстон-Муре во время Гражданской войны в Англии, так и не успев обнародовать свое открытие, поэтому именно после описания Гюйгенса, приведенного в его Systems Saturniim, микрометр получил распространение в астрономической практике.



Systema Saturnium можно считать достойным продолжением «Звездного вестника» Галилея. Несмотря на свое название, книга не ограничивается описанием Сатурна. Гюйгенс также первым заметил рябь на поверхности Марса. Проследив за смещением Большого Сирта, широкой области из вулканических скал, он понял, что планета вращается вокруг некой оси, и смог

установить продолжительность марсианского дня. Ученый также произвел несколько новых наблюдений Юпитера и Туманности Ориона, в которой различил три звезды из числа формирующих ее центральный район, Трапецию. Он описывал туманность как «щель в небе, через которую можно заглянуть дальше, в более светлую область». В Systema Satumium содержатся также удивительно точные оценки размеров Солнечной системы.

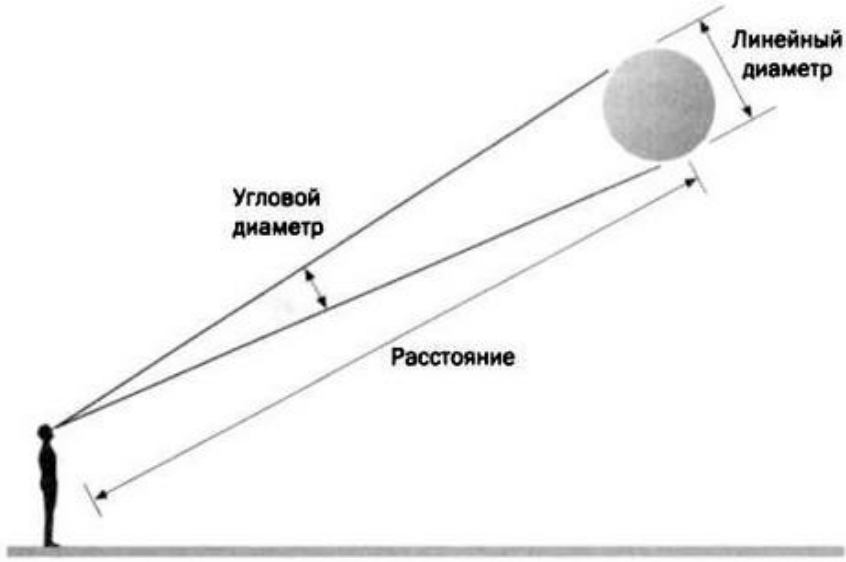


РИС. 4

РАЗМЕРЫ МИРА

Масштабные астрономические исследования Коперника и Кеплера позволили создать довольно точные карты Солнца и шести известных на тот момент планет — Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна. Пропорции карты, которую создали ученые, были правильными, но определить ее масштаб они не смогли. Все расстояния выражались в зависимости от одной неизвестной — дистанции между Солнцем и Землей, которую, по мнению Гюйгенса, астрономам не удалось вычислить удовлетворительным образом:

«...оценки расстояния между Землей и Солнцем очень различаются, и это неудивительно, ведь до сих пор не придуман приемлемый способ измерить это расстояние. Они стараются определить его с помощью затмений или фаз Луны, но все эти усилия напрасны».

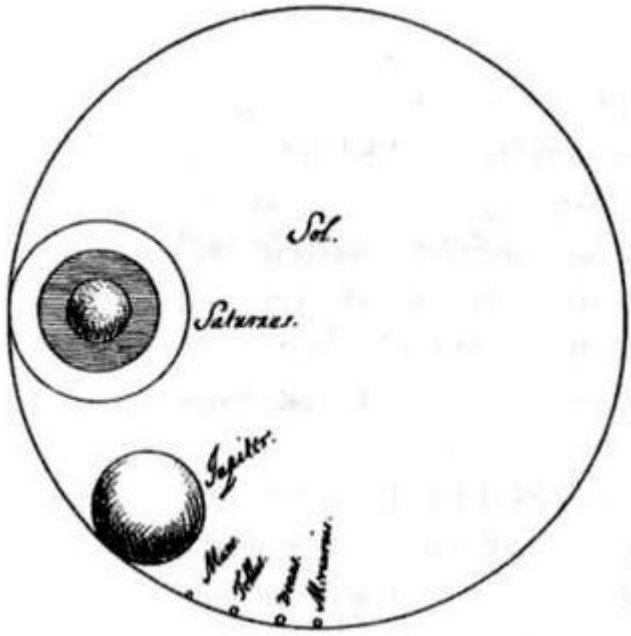
Как же быть в таком случае? Гюйгенс подошел к вопросу с

другой стороны. С помощью микрометра он определил угловой диаметр планет. Эта величина соответствует углу равнобедренного треугольника, сторонами которого являются расстояния от наблюдателя до крайних точек планеты. Третьей стороной служит ее диаметр — словно расстояние между концами воображаемых щипцов, в которых наблюдатель зажал небесное тело (см. рисунок 4).

Гюйгенс начал свои вычисления с Сатурна и определил, что его диаметр равен 68". Взяв карту Солнечной системы, не имеющую масштаба, он доказал, что самое короткое расстояние между Сатурном и Землей равнялось восьми средним расстояниям, отделяющим нас от Солнца. Из этого ученый вывел, что если мы снимем Сатурн с его орбиты и поместим планету рядом с Солнцем, то она будет в восемь раз крупнее обычного. Изменение положения увеличило бы в восемь раз и полученный им угловой диаметр: 68" x 8 = 544" = 9'4". С Земли угловой диаметр Солнца равен 30'30". При помощи двух этих значений углов — одного истинного (касается Солнца) и мнимого (касается перемещенного Сатурна), — которые можно было бы измерить для звезды и для планеты, размещенных на одном и том же расстоянии, ученый смог сравнить их размеры:

$$\left.\begin{aligned}\alpha_{\text{Сат}} &= 9'4'' = 9\cdot 60'' + 4'' = 544''\\ \alpha_{\text{Солнце}} &= 30'30'' = 30\cdot 60'' + 30'' = 1830''\end{aligned}\right\} \frac{\alpha_{\text{Сат}}}{\alpha_{\text{Солнце}}} = \frac{544''}{1830''} \approx \frac{11}{37}.$$

Помня о том, что для маленьких углов и для тел, расположенных на одном и том же расстоянии от наблюдателя, отношение их линейных диаметров равно отношению их угловых диаметров, Гюйгенс заключил, что диаметр Сатурна равен 11/37 диаметра Солнца. В этих подсчетах он учитывал и кольцо; без него эта дробь уменьшилась до 5/37. Ту же операцию он проделал для определения размеров Венеры, Марса и Юпитера.



D	1
Солнце	
D	1
Венера	84
D	1
Марс	166
D	2
Юпитер	11
D	5
Сатурн	37

В Systems Saturnium Гюйгенс представил относительные размеры Солнца и планет в виде оригинальной диаграммы.

Получить значения для Меркурия помешали плохие условия наблюдения. Представленная Гюйгенсом последовательность вступала в противоречие с укоренившимся мнением, что объем планет рос по мере их удаления от Солнца, то есть Венера должна быть больше Меркурия, Земля — больше Венеры и так далее. Однако речь шла об относительных значениях, выраженных в зависимости от диаметра Солнца, величина которого так и оставалась неизвестной. Ученым все еще не хватало точки отсчета для определения масштаба Солнечной системы. Однако Гюйгенс зашел слишком далеко, чтобы просто остановиться. И для продолжения работы ученому пришлось прибегнуть к довольно странному рассуждению:

«Чтобы, насколько это возможно, сохранить гармонию всей

системы, кажется, что, в конце концов, будет более разумно допустить, что, поскольку Земля занимает промежуточное положение между Марсом и Венерой, в том, что касается расстояния до Солнца, она будет иметь и промежуточные размеры. Мы сказали, что диаметр Марса равен 1/166 по отношению к диаметру Солнца, а диаметр Венеры — 1 /84. Следовательно, если мы примем за диаметр Земли среднее значение между этими двумя, то получим, что он равен 1/111 по отношению к диаметру Солнца».

МАСШТАБ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

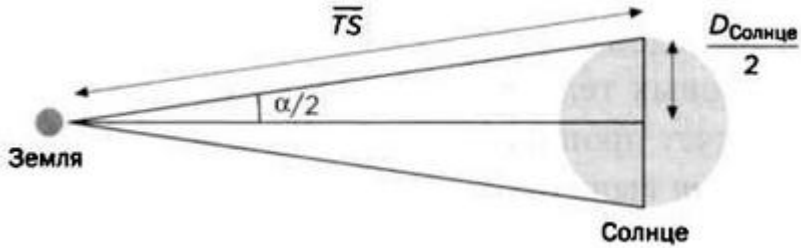
Гюйгенс определил размеры планет относительно Солнца. При помощи уравнения $D_{Солнце} = 111 \cdot D_{Земля}$, которое связывало диаметр нашей звезды с Землей, он смог сделать их абсолютными. Чтобы понять, почему это выражение содержало ключ к такой же операции с расстояниями, применим угловой диаметр (см. стр. 74) к наблюдателю, смотрящему на Солнце с Земли. На рисунке мы видим, что расстояние от Земли до Солнца TS связывается посредством простого тригонометрического равенства с α и с $D_{Солнце}$.

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{D_{Солнце}}{2}}{\overline{TS}}, \quad \overline{TS} = \frac{D_{Солнце}}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Введя значение $\alpha = 30'30''$: $TS = 113 \cdot D_{Солнце}$ и апеллируя к небесной гармонии, Гюйгенсу удалось установить, что $D_{Солнце} = 111 \cdot D_{Земля}$. Поэтому:

$TS = 113 \cdot D_{Солнце} = 113 \cdot 111 \cdot D_{Земля} = 12543 \cdot D_{Земля}$,

Поскольку радиус Земли был определен достаточно точно, последнее уравнение дает нам искомый параметр масштаба для создания карты Солнечной системы Кеплера и Коперника — расстояние между Солнцем и Землей.



$D_{Вен} = 1/84\ D_{Солнце} \cdot D_{Марс} = 1/166\ D_{Солнце} \cdot$ Среднее$(1/84 + 1/166)/2 \approx 1/111\ D_{Солнце.}$

Следовательно, $D_{Земля} = 1/111\ D_{Солнце}$.

Стремясь сохранить гармонию всей системы, Гюйгенс отклонялся от научной строгости и все больше уходил в область неясных гипотез. Ученый сам признавал, что его доводы с определенного момента опирались на весьма «шаткое основание». Он определил, что диаметр Солнца в 111 раз больше диаметра Земли. И это был прекрасный результат, учитывая, что, согласно современным расчетам, верное число равно 109. Во времена Гюйгенса уже можно было более или менее приемлемо измерить диаметр Земли. Полученное значение позволило ученому перевести все расстояния и размеры из относительных величин в абсолютные и определить масштаб Солнечной системы. Надо сказать, что с расчетами ученому помогла и фортуна: некоторые его ошибки уравновесили друг друга и, таким образом, исчезли. Хроматическая аберрация размывает очертания небесных тел, увеличивая их угловой диаметр. Это увеличение компенсируется тем, что Земле были приписаны меньшие размеры по сравнению с истинными, так как на самом деле она больше Марса и Венеры. В любом случае, точность полученного результата не может не поражать.

Как и другие отцы-основатели современной науки, Гюйгенс имел свою навязчивую идею родом из Средневековья. Кеплер представлял Солнечную систему в виде своеобразной матрешки, состоящей из геометрических фигур, а орбиты планет последовательно помещались в сферу или одно из пяти Платоновых тел. Ньютон обдумывал такую странную задачу, как расчет пропорций храма Соломона. Гюйгенс же в Systema Satumium выводит нумерологическую зависимость на основе числа 6, учитывая, что 6 = 3 x 2 x 1; 6 = 3 + 2 + 1. Ученый предсказывал, что больше не будет открыто ни одного спутника, поскольку их число должно быть таким же совершенным, как и число их старших братьев, планет. Известных планет было шесть, значит, и спутников должно быть шесть. У Земли свой спутник

был, у Юпитера, как открыл Галилей, их было четыре, Гюйгенс закрыл этот список, разглядев Титан. Однако позже Кассини нарушил эту гармонию чисел, найдя на небе еще один спутник, опять же у Сатурна, — Япет.

РАЗБИТОЕ КОЛЬЦО

Главным возражением против теории твердого диска, которую защищал Гюйгенс, является его стабильность. Сила притяжения уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния между массами (коэффициент пропорциональности — 1 /r_2, где r — расстояние). Представим себе планету P, перед которой выстроились две одинаковые сферы, a и b отделенные друг от друга некоторым расстоянием (см. рисунок 5). В этом случае r_2 будет больше, чем r_1 поэтому притяжение между P и a будет больше, чем между P и b и обе массы будут иметь тенденцию отдаляться друг от друга.

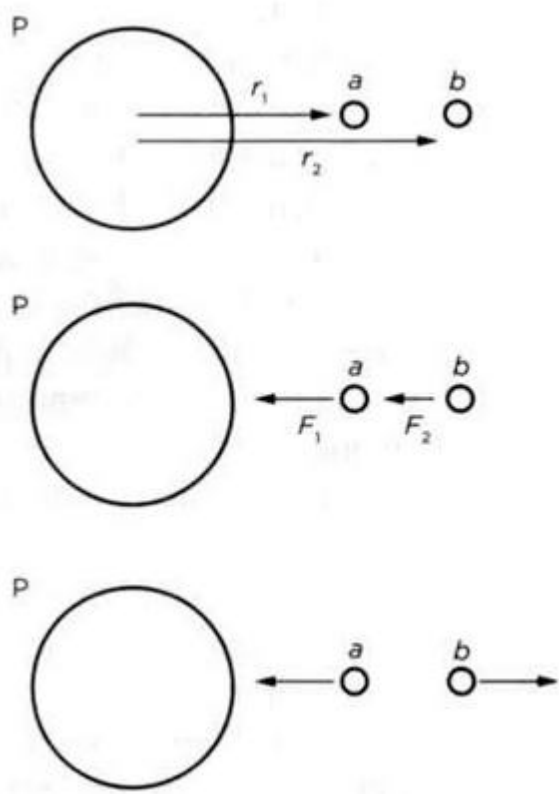


РИС. 5

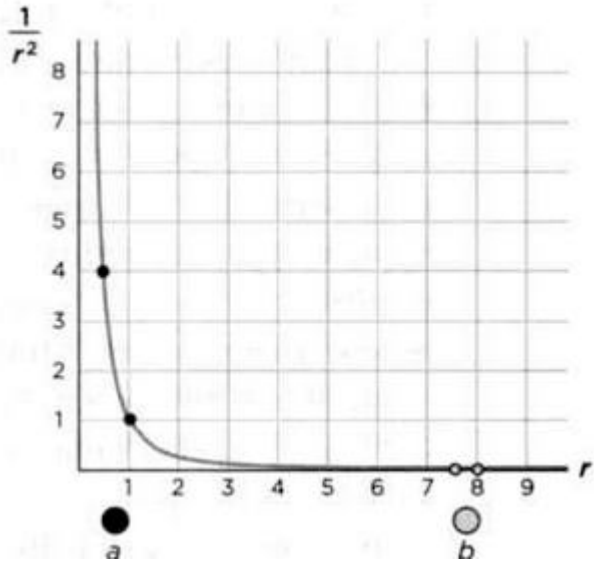


РИС. 6

Если бы эти две сферы были частью массы единого тела, асимметрия воздействия деформировала бы его. К тому же из- за обратной зависимости силы притяжения от квадрата расстояния (1 /r_2) разница напряжения растет по мере приближения любого тела к планете. Интенсивность воздействия особенно чувствительна к изменениям расстояния при небольших значениях r, как видно на рисунке 6.

На кривой лежат значения 1 /r_2. Слева, рядом с началом координат, значения коэффициента больше и они сильно отличаются между соседними точками. Между конечными точками сферы а 1/r_2 переходит от 4 к 1. Разница составляет целых 3 единицы. Справа, далеко от начала координат, коэффициент принимает меньшие значения. Между конечными точками b, которые находятся на одинаковом расстоянии от концов я, 1 /r_2 переходит от значения 0,0178 к 0,0156. В этом случае разница не больше 0,0022 единицы.

Таким образом, даже если бы а и b были одинакового размера, на их крайние точки воздействовали бы силы разной интенсивности: в левой части графика, при меньшем г (когда сфера находится очень близко от планеты), эти силы были бы значительны и еле заметны — в правой части (когда сфера далеко). Следовательно, сфера едва почувствует присутствие Р, пока будет далеко, и будет испытывать разрушительное напряжение, если подойдет слишком близко. Мы можем рассмотреть этот процесс последовательно, по мере того как эластичная сфера приближается к планете Р. При этом она будет

испытывать все большее воздействие. Сначала сфера превратится в яйцо, которое постепенно будет сплющиваться, становиться все более плоским, пока центростремительные силы не будут нивелированы, и сфера не разрушится.

Расстояние, на котором происходит разрушение тела из-за воздействия на него разнонаправленных сил притяжения, называется пределом Роша. Основное сопротивление деформации оказывают электромагнитные силы, которые притягивают друг к другу частицы, составляющие массу тела (химическое взаимодействие). Их работа тем эффективнее, чем меньший объем имеет тело. Таким образом, космонавт или коммуникационные спутники, вращающиеся вокруг Земли, находятся внутри предела Роша, но благодаря своим маленьким размерам защищены от разрушения. Сила притяжения возводит вокруг планет барьер, который разрушает тела определенного размера в непосредственной близости от них. Радиус орбиты больших спутников, таких как Луна, всегда превосходит предел Роша. Среди всех планет Солнечной системы звание главного разрушителя получил Юпитер — все кометы, подошедшие к планете слишком близко, исчезли.

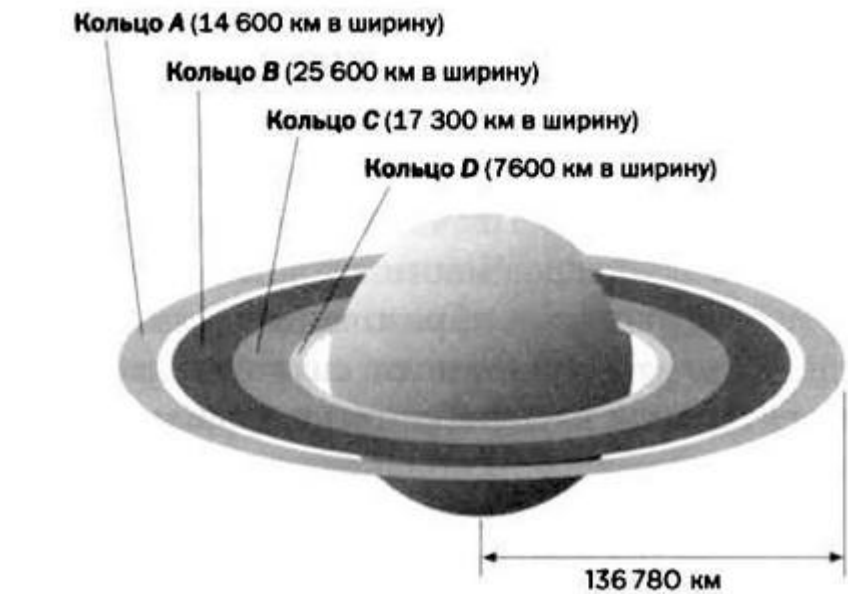


РИС. 7

Если силы притяжения особенно велики, деформации подвергнутся и мелкие тела. Черная дыра может вызвать настолько неравное напряжение между ногами и головой человека, что способна убить его (это явление неформально называется «спагеттификацией»).

Кольца Сатурна состоят из множества кусочков льда и пыли, которые вращаются вокруг планеты на разных скоростях, очерчивая тысячи окружностей. Из-за гравитационного притяжения больших спутников на кольцах возникают трещины и щели, из-за чего они похожи на старую музыкальную пластинку. Буквами A, B, C и D (см. рисунок 7) обозначены четыре основные полосы, видимые с Земли. Алфавитный порядок отражает хронологию их открытия, а также их расположение — от внешнего края к внутреннему.

Космические корабли открыли еще три, более отдаленные полосы — F, G и E. Чтобы составить представление о размере всей системы, надо вспомнить, что радиус внешней части кольца A чуть больше двух радиусов Сатурна. Радиус полосы E составляет примерно восемь радиусов планеты.

Рен был прав: эти кольца чрезвычайно тонкие, толщиной едва ли в километр, хотя по своим размерам они поглотили бы орбиту Луны. Если представить, что диаметр четырех главных колец равен диаметру обычного компакт-диска, то их толщина не превысила бы толщину клеточной мембраны. Вне зависимости от происхождения этих образований (появились ли они от спутника, распавшегося на мелкие фрагменты, от нескольких комет, пойманных притяжением, или образовались из первоначальной материи Солнечной системы, породившей остальные планеты), основная причина их существования состоит в пределе Роша, поскольку самый плотный участок диска находится внутри него. Рисунок 8 наглядно иллюстрирует эту ситуацию. Расстояния измеряются от центра Сатурна, каждая единица — это радиус планеты.

Гипотеза, согласно которой кольцо на самом деле состоит из мелких частей, почти так же стара, как гипотеза Гюйгенса. Через год после издания Systema Satumium ее высказал поэт Жан Шаплен. В 1845 году молодой студент математического факультета Кембриджа Джон Куч Адамс, проанализировав некоторые отклонения орбиты Урана, пришел к выводу, что их причиной были гравитационные пертурбации, вызванные воздействием неизвестной планеты. Королевский астроном и директор Гринвичской обсерватории Джордж Эйри проигнорировал гипотезу Адамса, считая ее плохо обоснованной, и отказался направить телескопы на координаты, которые указал молодой коллега. Из-за этого досадного недоразумения честь открытия Нептуна принадлежит французскому математику Урбену Леверье, проявившему большую расторопность.

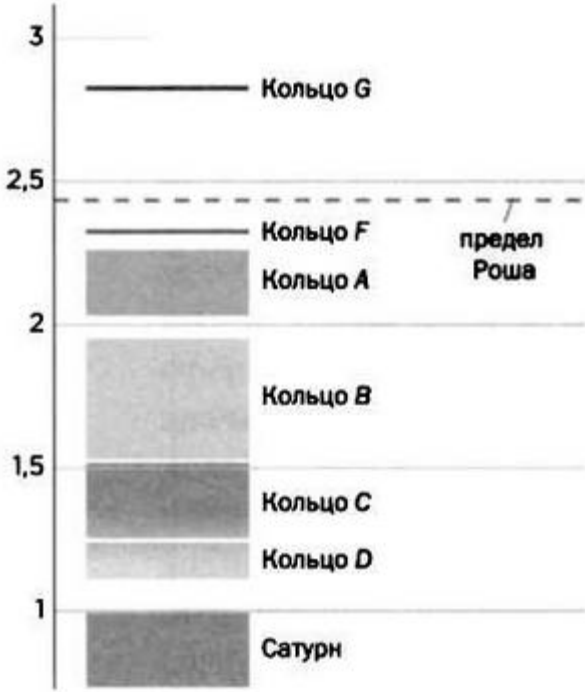


РИС. 8

В честь Адамса, к предсказанию которому отнеслись с таким пренебрежением, Кембриджский университет учредил премию в честь ученого. В 1856 году было предложено выяснить, является ли кольцо Сатурна твердым, жидким или же состоит из «многочисленных отдельных фрагментов материи». Единственным, кому оказался по силам этот вызов, был молодой Джеймс Клерк Максвелл. Революцию в термодинамике и в области электромагнитных волн он произвел несколько лет спустя, но уже начинал демонстрировать свои способности. Максвелл подверг кольцо настоящей математической атаке, используя дифференциальное исчисление — гораздо более изощренное оружие по сравнению с тем, которым располагали ученые XVII века. Максвелл открыл, что твердое кольцо было бы стабильно только в том случае, если бы 9/2 его массы были сконцентрированы в одной точке. Но наблюдения этому противоречили. Максвелл писал:

«...единственная система колец, которая может существовать, состоит из неопределенного числа отдельных частиц, которые вращаются вокруг планеты на разных скоростях в зависимости от расстояния, на котором они располагаются. Эти частицы могут образовывать ряд узких колец или

передвигаться и пересекаться без порядка и согласия. В первом случае разрушение этой системы будет происходить очень медленно; во втором оно будет более быстрым, но у частиц может проявиться тенденция образовывать узкие кольца, что замедлит процесс».

Эйри, прочитав работу Максвелла, отозвался о ней следующим образом: «Насколько мне известно, это одно из самых выдающихся применений математики в физике». В этом труде, названном «Об устойчивости движения колец Сатурна», чувствуется дух Гюйгенса. Он обнаружил кольцо, не используя телескоп, благодаря зрению своего разума, а Максвелл с помощью такого же зрения увидел движение его фрагментов, причем подобной точности удалось добиться только 40 лет спустя, с изобретением спектрального анализа.

Немногие ученые смогли бы пройти путь, который привел Гюйгенса от его первоначального интереса к преломлению к открытию Титана и колец Сатурна. Ученый расширил представление о диоптрике благодаря математическому изучению линз; он улучшил телескоп, изобретя окуляр, который носит его имя, диафрагму и микрометр, созданные на основе законов геометрии. Также Гюйгенс научился шлифовать линзы, спроектировал и сконструировал станок, чтобы упростить эту работу, и собрал телескоп, который, хоть и не был самым лучшим в мире, но не уступал изделиям самых искусных мастеров того времени. С помощью этого инструмента он открыл новый спутник. Сатурн открыто показывал астрономам свое кольцо во всем его блеске, но ни один ученый не смог понять, что именно он наблюдает. Гюйгенсу же удалось прийти к верному выводу путем логических умозаключений. Вдобавок ко всему он рассчитал период вращения Марса и впервые указал масштабы Солнечной системы.

Такими удивительными способностями в области математики, астрономии и ручного труда невозможно не восхищаться. Когда Гюйгенс впервые начал исследовать свет, он предстал перед ним как совокупность прямых линий.

Но по мере того как Гюйгенс углублялся в изучение природы явления, свет открывал ему другие свои стороны, такие же изменчивые и противоречивые, как облики Сатурна. Ученого ждали новые удивительные тайны.

ГЛАВА 3
Ускользающий свет

Чем больше Гюйгенс углублялся в исследование света, тем больше противоречий встречал на своем пути.

От математического описания поведения лучей ученый перешел к поиску ответов на вопрос о том, какова истинная природа этого явления. Первые результаты положили начало современной волновой теории света. Ключом к открытию знаменитого принципа, носящего имя Гюйгенса, стала физическая загадка из тех, которые он так любил: загадка двойного преломления в исландском шпате.

К началу 1660-х годов Гюйгенс стал одним из самых видных ученых своего времени. В те годы создавались Лондонское королевское общество и Французская академия наук, которым принадлежит честь сделать большинство открытий эпохи. Эти организации подтолкнули распространение знаний, под их эгидой появились первые научные журналы — Philosophical Transactions («Философские труды») и Journal des Savants («Журнал ученых»). Эти издания Гюйгенс стал использовать для распространения своих идей, не прекращая писать все более трудоемкие трактаты. Он был принят в оба вышеупомянутых учреждения: несмотря на сдержанность, которая объяснялась иностранным происхождением Гюйгенса, его талант вызывал настоящее восхищение.

В 1661 году вместе с группой дипломатов Христиан поехал в Лондон на коронацию Чарльза II. Обязательным пунктом программы было посещение Грешем-колледжа, первого высшего учебного заведения Лондона, которое стало образцом для Лондонского королевского общества. Как вы помните, в свое время даже Париж не оставил у Гюйгенса приятного впечатления, а уж Лондон, сильно пострадавший от восстаний, предшествующих Реставрации, тем более не вызвал у ученого восторга. После смерти Кромвеля Грешем-колледж использовался как казарма. Как писал епископ Рочестера Кристоферу Рену, солдаты оказались ужасными постояльцами:

«Я обнаружил помещение в таком отвратительном и грязном состоянии, оно было пропитано такой омерзительной адской вонью, что если бы вы сейчас пришли сюда с вашим телескопом, то походили бы на богача, рассматривающего небеса из ада».

Когда деятельность колледжа была возобновлена, новому королю она показалась комедией абсурда. Как писал в своем

дневнике Сэмюэл Пипс, Чарльз II надрывался «от смеха в Грешем-колледже, наблюдая, как там тратили время на то, чтобы взвешивать воздух, и ничего более, в течение всего времени, что он провел в его стенах». Гюйгенс не разделял насмешки короля и, напротив, с энтузиазмом наблюдал за экспериментами с вакуумом, которые проводили Роберт Бойль и Роберт Гук, вдохновленные новаторскими трудами Отто фон Герике. Вернувшись летом в Гаагу, Христиан решил создать собственный насос. К концу года Гюйгенс был убежден, что улучшил проект Бойля. Англичане не поверили в его достижения — возможно, потому что не смогли сравняться с ними. Гюйгенс скрыл конструкцию модели из опасений плагиата и только в июне 1663 года вернулся в Лондон, чтобы доказать превосходство своего воздушного насоса. Чтобы не присутствовать на демонстрации, Бойль уехал в Эссекс — якобы нанести визит сестре, графине Варвик. Он решил, что появится в колледже только после того, как Гук сообщит ему, что изобретение голландца оказалось не намного лучше его собственного.

ПАРИЖСКАЯ ЖИЗНЬ

Единственным городом в мире, который мог соперничать с Лондоном по благоприятной обстановке для научных исследований и обмена идеями, был Париж. К тому же Гюйгенс чувствовал большую склонность к французской культуре. Перед посещением Лондона он устроил себе еще одну поездку на берега Сены и вновь стал появляться в доме Монмора, чтобы участвовать в интеллектуальных спорах, которых ему так не хватало в Гааге:

«Каждый вторник устраивается собрание, в котором участвуют 20-30 выдающихся людей. Я не пропускаю ни одного».

Однако внимание ученого привлекали не только научные знаменитости. В Париже он влюбился в Марианну Пети, дочь инженера. С самого начала эта любовь натолкнулась на непреодолимые препятствия. Портрет девушки, который Гюйгенс хотел написать сам, никак не получался,— хотя, возможно, сеансы живописи были всего лишь предлогом для визитов.

Марианна хотела уйти в монастырь, и еретик-протестант был не лучшим собеседником, способным заставить ее изменить решение. Ученый на протяжении нескольких месяцев тяжело переживал неудачное сватовство. Его брат Константин присылал ему пикантные каламбуры, а Христиан отвечал такими же каламбурами, но касающимися астрономии.

Это правда, что я не мог бы вести более счастливую жизнь ни в каком другом городе мира, как в этом [Париже]. Его приятнейшие в обращении жители и их необыкновенное радушие привязывают меня к нему с каждым днем все больше.

Христиан Гюйгенс

Гюйгенс искал предлог, чтобы обосноваться в Париже, и вскоре получил официальное приглашение. Король- «солнце», по всей видимости, хотел сделать столицу своего государства центром целого мира; его амбициозные планы учитывали и научный аспект. Однако к моменту основания Академии наук, которая впоследствии стала главной научной организацией Франции, смерть забрала у страны ее самых выдающихся ученых. В 1650 году умер Декарт, в 1662-м — Паскаль, в 1665-м — Ферма. Гюйгенс, конечно, был иностранцем, но его огромный авторитет хотя бы частично покрывал этот недостаток. Кроме того, ученый в совершенстве владел французским языком, а его безупречное аристократическое воспитание вполне соответствовало требованиям французского двора.

Одно из немногих препятствий, которые могли угрожать назначению Гюйгенса, как ни странно, возникло из-за его отца. С 1650 года Нидерландская Республика осталась без штатгальтера. Видя, что его звезда заходит, Константин использовал имя сына, чтобы сохранить свое положение. Довольно часто для того, чтобы разрядить обстановку во время переговоров, Константин устраивал демонстрацию с использованием научных инструментов, которые делал его сын. Сам Христиан испытывал настоящее отвращение к этим постановкам и, хотя открыто не возражал отцу, всеми силами бойкотировал их. Например, вот что он писал младшему брату Лодевейку о волшебном фонаре, который попросил сконструировать отец:

«Поскольку я уже пообещал ему послать фонарь, мне придется это сделать. Я не сумел найти хорошего предлога, чтобы уклониться от этой обязанности. Но когда его доставят, если захочешь, ты легко можешь сделать так, чтобы он не работал. Вытащи одну из трех линз, которые будут к нему прилагаться. Я поведу себя так, будто не имею малейшего представления о том, что могло случиться, а благодаря последующему объяснению мы получим необходимую отсрочку. Все это будет ему на благо, ибо я убежден, что нашему отцу не пристало заниматься такими кукольными спектаклями в Лувре, и я уверен, что ты не захочешь ему в этом помогать».

Мы не знаем, какого мнения Людовик XIV был о

дипломатических маневрах Константина. Разумеется, вряд ли он был рад поставить во главе академии сына этого влиятельного на политической арене голландца. Особенно если учесть, что Республика противилась французским планам территориальной экспансии. И все же, после некоторого колебания, в июне 1665 года Гюйгенсу было предложено стать во главе академии. Ученый воспринял эту новость с энтузиазмом:

«Оседлать коня и получать жалованье от короля гораздо лучше и радует меня куда больше, чем провести остаток моих дней в этой стране в праздности».

Торжественное открытие академии состоялось год спустя. В нем приняли участие многие из тех ученых, с которыми Гюйгенс познакомился во время своего первого посещения Парижа, например Озу и Роберваль. Всего за десять лет ситуация в научном мире претерпела изменения: если раньше Гюйгенс был «подающим надежды» юношей, то теперь Исмаэль Буйо назвал его «высочайшим умом» научного сообщества. В августе Христиан переехал в Королевскую библиотеку, где располагалась Академия, чтобы участвовать в заседаниях, не выходя из дома. Ему назначили жалованье в 6000 фунтов, что было в четыре раза больше, чем у обычных членов (до сих пор ученый жил на деньги своего щедрого отца). Первое официальное собрание Академии наук состоялось через три дня после Рождества.

Гюйгенс остался в Париже на целых 15 лет, хотя иногда и ездил в Гаагу из-за проблем со здоровьем, приступов депрессии и политической ситуации, которая становилась все более запутанной. Стремиться во Францию или Англию было естественно для любого физика и математика XVII века — если только он не был родом из Нидерландов. Экономическое процветание, за счет которого поддерживалось развитие науки, сделало возможным и вооруженные территориальные споры.

В наиболее плодотворный для Гюйгенса период, с 1652 по 1674 год, между Великобританией и Нидерландами прошли три войны за морское превосходство. В 1672 году, когда к войне присоединилась Франция, Оранская династия вернулась к власти. Вместе с ней вернулись и оба Константина — отец и сын. Брат Гюйгенса наконец смог занять место, к которому готовился более 20 лет, и был назначен секретарем нового штатгальтера Вильгельма III. Константин-старший в 72 года вернул себе прежнее влияние. Решение Людовика XIV объявить войну Нидерландам поставило Гюйгенса в крайне затруднительное положение. Получалось, что он жил во вражеской стране, и французы могли рассматривать его как выдающегося ученого, гражданина мира, — но и как шпиона, ведь его родственники

были главными советниками их врага. Эту дилемму во Франции решили легко.

ХОЛЕРИЧЕСКИЙ ТЕМПЕРАМЕНТ И НАУКА

Научная работа Гюйгенса, которую мы проанализировали в предыдущих главах, была проделана за одно пятилетие, с 1651 по 1656 год. Но в этот плодотворный период он занимался и другими задачами, помимо описанных выше. Особенно насыщенным стал 1652 год. За 12 месяцев Гюйгенс внес новые поправки в теорию Декарта, разработал свою собственную теорию по механике столкновений тел и обнаружил принцип сохранения энергии, изучил солнечное гало, начал исследования в области диоптрики и получил важные результаты в алгебре и геометрии. Кажется, что он шутит, когда жалуется ван Схотену на сильные головные боли и пишет: «Сейчас, однако, я вынужден отказаться от занятий, если только моя сила воли не победит боль».

Из-за холерического темперамента Гюйгенс часто не доводил начинания до конца. Он мог переходить от одной темы к другой в зависимости от своих интересов или внешних обстоятельств. Его исследования продвигались, внезапно останавливались, накладывались друг на друга или мешали друг другу. Этому способствовали две противоположные причины: с одной стороны, Гюйгенс с трудом признавал работу законченной, а с другой — он легко увлекался новыми проектами. Ученый испытывал что-то вроде охотничьего азарта. Как только радость открытия проходила, написание трактата с изложением результатов казалось ему гораздо менее привлекательным, чем новое исследование. Из всего этого плотного переплетения направлений, которые Гюйгенс то быстро развивал, то резко останавливал, мы проследим его интерес к свету. Эта тема дольше всего занимала внимание ученого.

После издания Systema Satumium Гюйгенс все еще мечтал спроектировать идеальный телескоп. С 1665 года он посвятил много сил устранению сферической аберрации. Напомним, что в том же году он нашел такую конфигурацию линз, при которой вогнутый окуляр исправлял аберрацию выпуклого объектива. Это сочетание соответствовало очкам или земному телескопу. Гюйгенс же искал подходящее решение для астрономического инструмента. Он использовал технику парных сферических линз, которые устраняли аберрации друг друга.

Портрет Исаака Ньютона.
Гюйгенс вел с английским ученым горячие споры.

Мозаика, изображающая голландского ученого, на улице Лейдсеештраат в Амстердаме.

«Кольбер представляет членов Королевской академии наук Людовику XIV», Анри Тестелен. Холст, масло. Некоторые узнают Гюйгенса в девятой фигуре слева.

Его усилия увенчались успехом 1 февраля 1669 года. Вместо того чтобы изменять окуляр, ученый решил удвоить линзы объектива. Система с одной двояковогнутой линзой и одной плоско-вогнутой (см. рисунок 1) ведет себя как гиперболическая линза объектива и не дает сферической аберрации. Ключ к решению надо искать в соотношении радиусов кривых, которые Гюйгенс сумел точно определить.

В этом проекте ясно виден стиль Гюйгенса: изящное соединение физики и геометрии, в котором материя исправляла свои недостатки, следуя математическим уравнениям. Решив проблему аберрации, Гюйгенс наконец завершил монументальный труд по диоптрике. Даже с учетом его требовательности, он теперь был в состоянии написать большой трактат о свете, который коллеги ждали больше десяти лет. Однако Гюйгенс опять отвлекся на новые исследования.

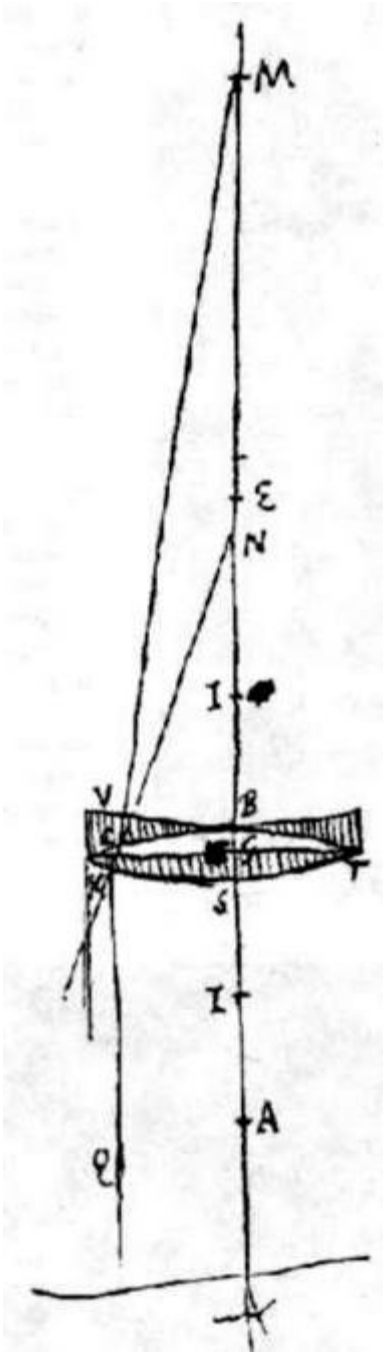


РИС. 1

В октябре 1669 года Исаак Барроу, первый профессор, возглавивший кафедру математики Кембриджского университета, отправлял в печать свои Lectiones XVIII, где объяснял закон Снелля, чтобы показать, как ведут себя сферические линзы.

Гюйгенс достиг тех же результатов на 15 лет раньше, но так долго продержал их в ящике стола, что они устарели. Он утешал себя, говоря, что потеря первенства не так уж и важна. Только что ученый решил гораздо более амбициозную задачу, показав, что результаты, опубликованные Барроу, имели абсолютное значение. Гюйгенс решил вновь заняться диоптрикой и написать новый трактат, дополнив его перечнем способов, позволяющих избавиться от аберрации.

НЬЮТОН ПРОТИВ ГЮЙГЕНСА

На полях своей работы 1669 года Гюйгенс записал: «Эврика!» Так он обычно помечал особо важные открытия. Спустя пять лет ученый зачеркнул это слово. Почему? Причиной был Исаак Ньютон. В первых лекциях, которые Ньютон прочитал, заняв место Барроу на математической кафедре, он признавал огромный прогресс в области диоптрики, но указывал на небольшие трещины в фундаменте здания, возведенного его предшественниками, из-за которых оно могло разрушиться:

«И тем не менее они оставили кое-что, имеющее большую важность, что должны открыть те, кто идет по их стопам; так, я нахожу в преломлениях некоторую неправильность, которая мешает всему [...]. По этой причине я и занимаюсь диоптрикой — не для того, чтобы предложить новый подход к ней, но чтобы сразу же до конца исследовать это свойство света и показать, до какой степени оно подрывает совершенство диоптрики и как можно избежать этого препятствия до той степени, до которой позволяет природа. Я опишу здесь различные аспекты, связанные с теорией и практикой телескопов и микроскопов, чтобы доказать, что окончательное усовершенствование оптики, в отличие от принятого мнения, должно состоять в сочетании диоптрики и катоптрики».

Свойство природы, о котором говорил Ньютон, было знаменитым разложением солнечного света, проходящего через призму. Геометрическая оптика не учитывала неизбежный оптический эффект: белый свет объединяет лучи разных цветов, которые, проходя через прозрачный предмет, отклоняются под разными углами. Таким образом, линза трансформирует каждую точку предмета в многоцветное пятно, формируя искаженное изображение. Это явление называется хроматической аберрацией. Ньютон считал, что она оказывает гораздо большее влияние на формирование изображений, чем сферическая, и что из-за нее

создание любого телескопа, состоящего только из линз, невозможно (диоптрика). Решение следовало искать в создании нового, отражающего телескопа, в котором использовались зеркала (катоптрика). Если Ньютон был прав, то намерение Гюйгенса усовершенствовать телескоп посредством тонкой шлифовки линз было обречено на неудачу. Со временем голландец понял, что в науке должна произойти настоящая революция. Сначала он прочитал статью, которую Ньютон опубликовал в феврале 1672 года в журнале «Философские труды». Его первая реакция была осторожной:

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП

В первой половине XVII века, когда оптическая индустрия стремительно развивалась, идея отражающего телескопа витала в воздухе. Ее поддерживал и сам Декарт. После того как выяснилось, что линзы увеличивали изображение, отклоняя лучи света, естественно было задуматься о том, какие возможности скрывались в зеркалах. В 1663 году шотландец Джеймс Грегори предложил первую конструкцию из двух зеркал: одно имело форму параболы, другое — эллипса (см. рисунок 1). Однако придать отшлифованной металлической поверхности нужную форму было так же технически сложно, как и изготовить качественные линзы. И Грегори отступил от своего плана.

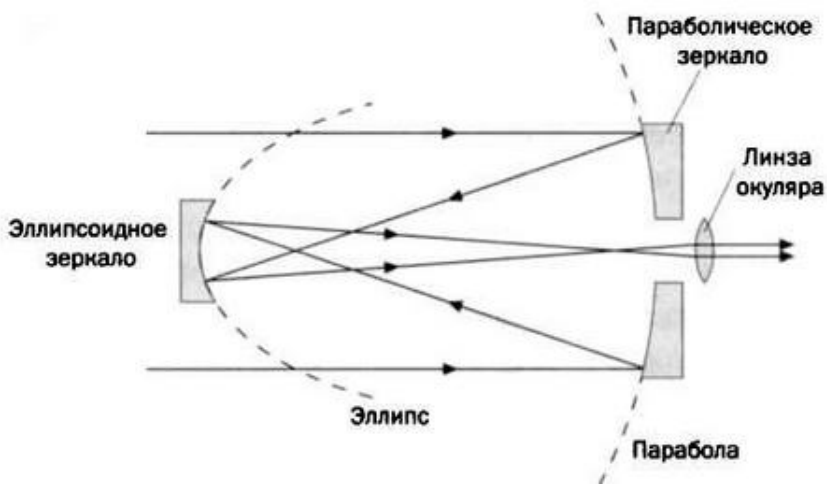


РИС. 1

Следуя примеру Гюйгенса, использовавшего элементы, которые ремесленники были в состоянии сделать, Ньютон

разработал более простой прототип на основе плоского и сферического зеркал (см. рисунок 2). Он сам спроектировал прибор и приготовил сплав для зеркала. Рефлекторный телескоп имел несомненные преимущества. Во-первых, он был менее подвержен сферической аберрации. Поскольку свет в нем не переходил через границу сред, то он не терял в яркости, а изображение не деформировалось из-за неровностей стекла или наличия в нем пузырьков. По этой же причине в нем не проявлялась хроматическая аберрация. Слабым местом телескопа был сам отражающий материал. В пределах возможного он должен был приближаться к идеальному зеркалу и не темнеть при контакте с атмосферой.

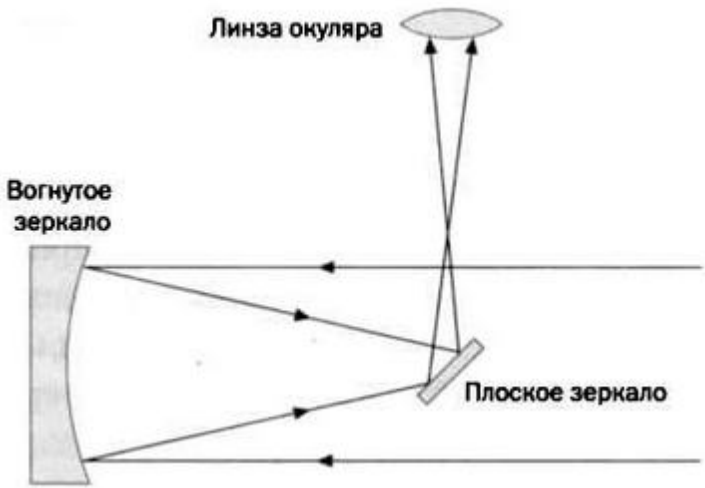


РИС. 2

«Его новую теорию цветов я нахожу довольно остроумной, но предстоит проверить, подтверждается ли она опытами».

Разумеется, Гюйгенс не разделял взглядов Ньютона, который был убежден, что у рефракторных телескопов нет будущего, — слишком уж много лет было посвящено работе над ними:

«Он также должен признать, что эта дисперсия лучей не компрометирует линзы так, как, кажется, он хотел бы, когда заявил, что вогнутые зеркала — единственная надежда усовершенствовать телескоп».

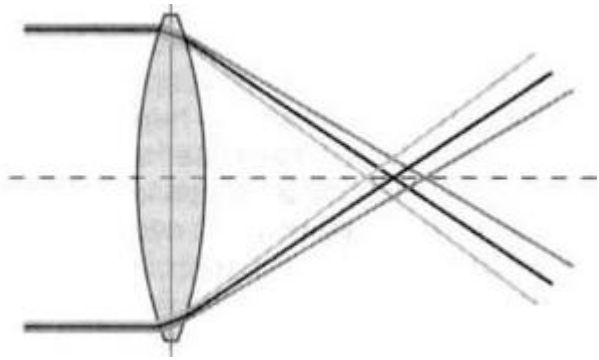


РИС. 2

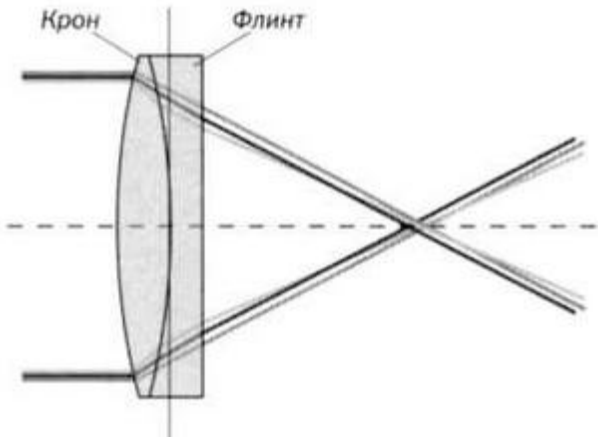


РИС. 3

Гюйгенс подозревал, что разрушительная критика англичанина была частью стратегии, позволяющей выдвинуть на первое место собственный отражающий телескоп. С научной же точки зрения ему казалось, что Ньютон вводил в свою теорию слишком много «цветов», в то время как достаточно было двух: синего и желтого. В своем ответе Гюйгенсу Ньютон умерил критику преломления, но оспорил доводы о белом свете, распадающемся на пару цветов. Тогда Гюйгенс с его придворным воспитанием решил, что энтузиазм, с которым Ньютон отдавался спору, был несовместим с хорошими манерами. Через секретаря Лондонского королевского общества Генри Ольденбурга голландец объявил, что выходит из полемики: «Когда я вижу, с каким жаром он защищает свои идеи, у меня пропадает всякое желание продолжать дискуссию». Однако он отдал Ньютону должное и зачеркнул восклицание «Эврика!» в своей тетради для записей, написав рядом: «Это изобретение бесполезно по причине ньютоновской аберрации, производящей цвета».

Однако хроматическая аберрация (см. рисунок 2) не смогла уничтожить телескоп на основе линз. Около 1730 года

английский адвокат и ученый-любитель Честер Мур Холл предложил новый подход, в котором комбинировал линзы разной формы из разных материалов (см. рисунок 3). Например, угол преломления света, проходящего через стекло крон, будет отличаться от угла при переходе через стекло флинт.

Публикация работ Барроу по оптике и теории Ньютона о разложении света за несколько месяцев перевернула ход 20-летних научных исследований в этой области.

Неуемное любопытство Гюйгенса и его удивительная работоспособность иногда становились главными его врагами, постоянно отвлекая ученого от цели и отдаляя момент обнародования его открытий. Но эти же качества были и его опорой. Любопытство отвлекало Гюйгенса от неудач, заставляло его видеть в них новое поле для исследований. Ученый высказался против теории цветов Ньютона, отмечая, что «даже если бы было истинным, что лучи света вначале были красными, синими и так далее, у нас осталась бы трудная задача объяснить посредством физики, в чем состоит механика этого разнообразия цветов». Это верное замечание прекрасно вписывалось в его подход к диоптрике. Геометрическая оптика переживала расцвет в годы молодости Гюйгенса, но теперь она не была способна объяснить новые явления. Впрочем, даже оставаясь в арьергарде физической науки, геометрическая оптика предоставляла ученым и ремесленникам полезные наработки. Гюйгенс использовал ее как трамплин для новых исследований. Окончательно подтолкнула его к тому, что направить свое любопытство в единое русло, физическая головоломка, пробудившая в ученом огромный энтузиазм.

ТАИНСТВЕННЫЙ КАМЕНЬ

В середине XVII века Исландия находилась под властью Дании. Весной 1668 года король Фредерик III снарядил геологическую экспедицию, которая должна была исследовать восточное побережье острова до Хельгустадира. Ее целью было собрать образцы разновидностей кальцита (который также называют исландским шпатом). Минерал имел необыкновенную прозрачность. Расмус Бартолин, профессор геометрии и медицины в Копенгагенском университете, изучил его оптические свойства и пришел к удивительному открытию. Луч света, падая на поверхность исландского шпата и проходя через кристалл, раздваивался (см. рисунок 4), и в воздушной среде эти два луча

продолжали свой путь параллельно друг другу. Раздвоение лучей объясняло, почему, если смотреть через шпат, изображение также двоилось.

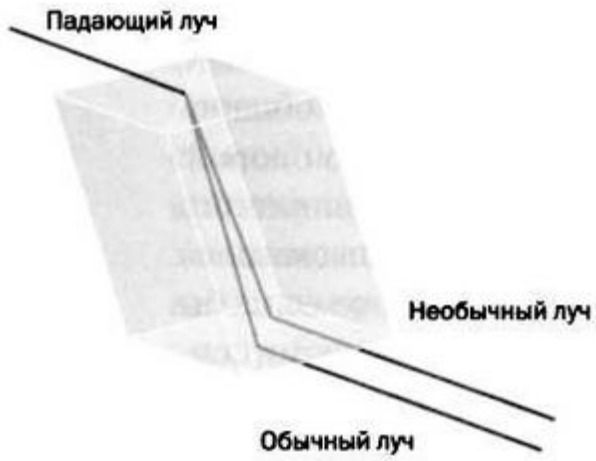


РИС. 4

Любопытно, что два результирующих луча вели себя по-разному. Один подчинялся закону Снелля и поэтому стал называться обычным лучом, а второй назвали необычным лучом, и его углы падения и отражения не соответствовали соотношению между синусами.

В 1671 году астроном Жан Пикар, член Королевской Академии наук, побывал в Копенгагене и захватил с собой в Париж несколько образцов шпата. Гюйгенс с присущей ему скрупулезностью подверг камни тщательному анализу и открыл явления, которые ускользнули от Бартолина. Самое удивительное происходило, когда два кристалла помещали рядом друг с другом. Вначале луч, как и следовало ожидать, двоился. Однако проходя сквозь первый камень и попадая на второй, лучи больше не разделялись. Что же происходило со светом, проходящим сквозь кальцит? Помимо отклонения, что-то, казалось, меняло его природу. Гюйгенс натолкнулся на неожиданное свойство света, которое человеческий глаз, в отличие от сверхчувствительных органов зрения многих насекомых и головоногих, не в состоянии воспринять, — речь идет о поляризации.

Как и многочисленные облики Сатурна, двойное лучепреломление не вписывалось в общепринятую теоретическую картину. Если поведение света можно свести к геометрической оптике, то такое вещество, как хельгустадирский кальцит, невозможно — однако вот он, его только что добыли из-под земли. Упорное желание Гюйгенса объяснить двойное

лучепреломление вывело его за рамки диоптрики. Первая попытка решить этот вопрос была предпринята в 1672 году, но окончилась неудачей. Пять лет спустя, во время продолжительного пребывания в Гааге, ученый опять пошел в наступление, оказавшееся решающим. Шестого августа 1677 года он сделал в своей тетради еще одну пометку «Эврика», и на сей раз ему не пришлось зачеркивать ее. В октябре Гюйгенс писал Жан-Батисту Кольберу, влиятельному министру Людовика XIV, объявляя о своем решении головоломки: «Это важное чудо природы, и открыть его было непросто». В середине 1679 года он представил свою теорию во Французской Академии наук, поделившись при этом большей частью идей, позже изложенных в его Traite de la lumiere («Трактате о свете»). Эту работу ученый, но своему обыкновению, опубликовал лишь десять лет спустя.

В то время как геометры доказывают свои предложения с помощью достоверных и неоспоримых принципов, в данном случае принципы подтверждаются при помощи получаемых из них выводов. Природа изучаемого вопроса не позволяет, чтобы это происходило иначе.

Христиан Гюйгенс, «Трактат о свете»

В геометрической оптике надо было учитывать только изгиб линз и закон преломления. Достаточно знать о математическом соотношении между α и ß и о распространении света по прямой, чтобы свести его поведение к геометрической задаче. Но на чем основывался закон о синусах? Что такое на самом деле луч света? Он состоит из отдельных частиц или же является неделимым? Как работает механизм его распространения?

Для Гюйгенса пришло время заняться всеми этими вопросами:

«Доказательства, применяющиеся в оптике, — так же как и во всех науках, в которых при изучении материи применяется геометрия, — основываются на истинах, полученных из опыта. Таковы те истины, что лучи света распространяются по прямой линии, что углы падения и преломления равны и что при преломлении излом луча происходит по правилу синусов... Большинство писавших по вопросам, касающимся разных отделов оптики, довольствовались тем, что просто принимали эти истины заранее. Но некоторые, более любознательные, стремились выяснить происхождение и причины этих истин, рассматривая их сами как замечательные проявления природы.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

В своей модели Гюйгенс описал распространение физической волны, не прибегая к столкновениям. Представим себе веревку, один конец которой мы двигаем вверх и вниз, образуя волну, в то время как другой зафиксирован. Волна при этом распространяется по веревке в горизонтальном направлении (см. рисунок 1). К такой волне можно применить понятие поляризации, которая указывает направление движения руки — вверх и вниз. В этом случае мы сказали бы, что волна имеет вертикальную поляризацию. Но она может иметь и горизонтальную поляризацию (см. рисунок 2). Сочетая движение по вертикали и горизонтали, рука может рисовать самые разные траектории, не выходя из плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Используя технический язык, мы сказали бы, что поляризация веревки включает совокупность горизонтальных и вертикальных элементов.

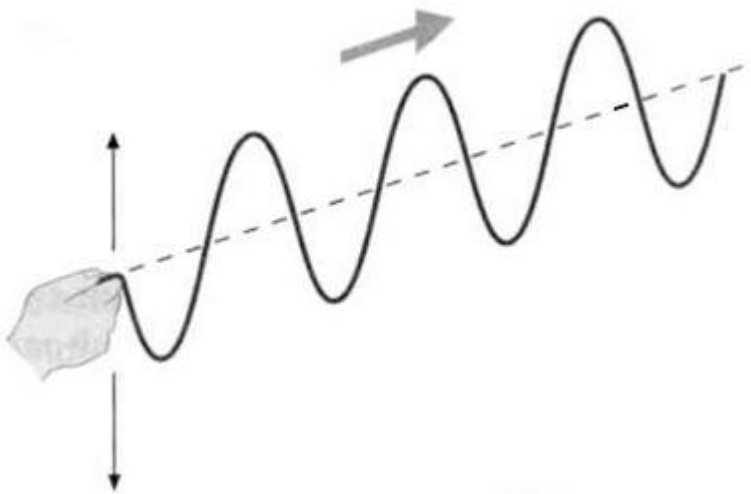


РИС. 1

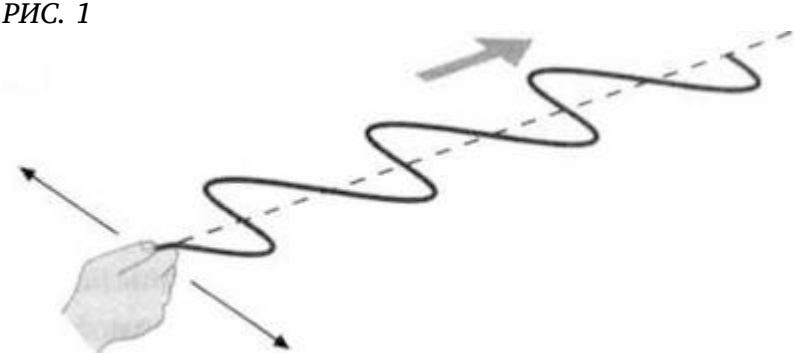


РИС. 2

Свет имеет схожие характеристики, так как, встречаясь с заряженной частицей, такой как электрон, может заставить ее двигаться в направлении, перпендикулярном своей траектории. В солнечном свете сочетается вертикальная и горизонтальная поляризация, но расположение атомов в исландском шпате объясняет асимметричную реакцию его электронов: одни из них могут колебаться только в вертикальном направлении, другие — только в горизонтальном. Когда солнечный свет достигает их, электроны одной группы реагируют только на горизонтальную составляющую луча, а электроны другой — только на вертикальную. Каждая группа отклоняет свет по-разному, и появляются два луча: один с вертикальной поляризацией, другой — с горизонтальной. Если на их пути встанет еще один кристалл, лучи больше не раздваиваются, поскольку каждый из них уже поляризован (см. рисунок 3).

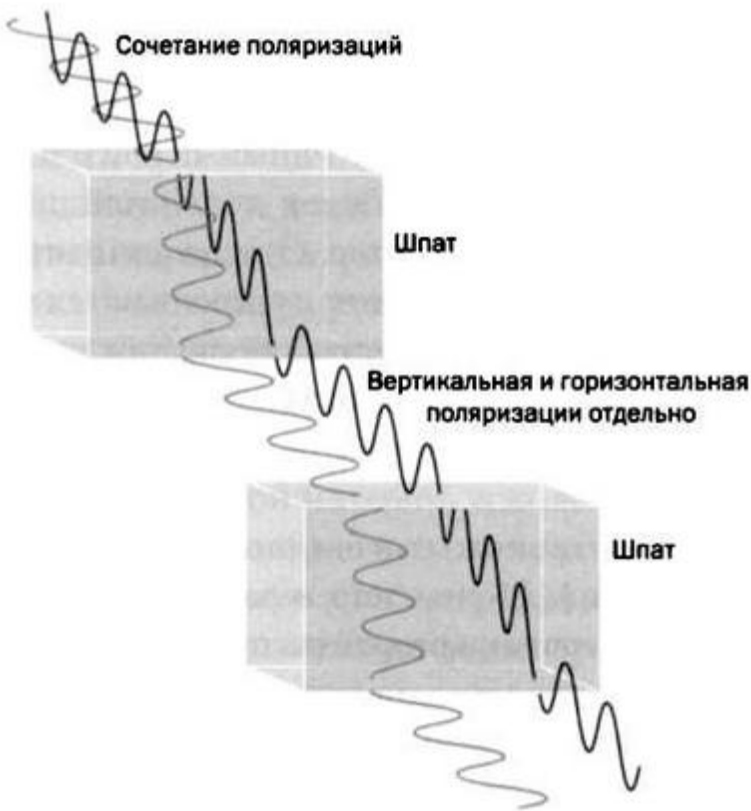


РИС.3

По этому поводу был высказан ряд остроумных соображений,

однако все же не настолько удовлетворительных, чтобы более сильные умы не пожелали еще более удовлетворительных объяснений»{ Здесь и далее в этой главе — перевод Н. Фредерикс.}.

Еще одним подтверждением гения Гюйгенса служит тот факт, что, посвятив четверть века изучению природы света и наблюдая, как другие разрушают его открытия или ставят их под сомнение, он все-таки создал монументальный труд о материи, применив к ней совершенно неожиданный подход.

ВОЛНЫ И ЧАСТИЦЫ

Ученые XVII века пытались описать природу света одной из двух теоретических схем: свет — это волна или свет — это частицы. Обе схемы объясняли распространение света в любом направлении и с конечной скоростью, хотя делали это разными способами. Одна из волновых гипотез, сформулированная до Гюйгенса иезуитом Игнасом Гастоном Пардисом, даже вступала в противоречие с атомизмом. Частицы, словно пули, не оказывают влияния на пространство, через которое проходят, а взаимодействие с ними строится по принципу «все или ничего». Столкновение с пулей или происходит, или нет. У волн же другой характер. Они не концентрируются в точках или линейных траекториях, а рассеиваются в пространстве равномерно, не оставляя пустых мест. Каждая версия имела свои достоинства и недостатки. Но для Гюйгенса корпускулярная модель была неприемлема:

«Нельзя сомневаться в том, что свет состоит в движении какого-то вещества. [...] Кроме того, если принять во внимание чрезвычайную быстроту, с которой распространяется свет во все стороны, а также то, что когда он приходит из различных и даже совершенно противоположных мест, лучи его проходят один через другой, не мешая друг другу, то станет совершенно понятно, что когда мы видим светящийся предмет, это не может происходить вследствие переноса материи, которая доходит до нас от этого предмета наподобие пули или стрелы, пересекающих воздух».

Другими словами, если бы свет был потоком частиц, два луча встретились бы и отрикошетили друг от друга. Опыт же показывает, что два потока света от факелов игнорируют друг друга, как будто не замечая взаимного присутствия. Видение Гюйгенса не совпадало с версией Пардиса, так как голландец не собирался отказываться от атомов. В его картине частицы играют

роль посредников. Распространяются не они, а пертурбация, которой они подвергаются. Через некоторое время после того, как частицы выполнили свой долг передатчиков, мы можем обнаружить их примерно в прежнем месте и состоянии, в то время как пертурбация, приведшая их в движение, идет дальше и затрагивает все более удаленные частицы. Это похоже на то, как автомобиль врезается в другое авто в пробке и провоцирует серию столкновений по цепочке. В результате первый автомобиль сдвигает последний, даже не касаясь его и передавая свой импульс на десятки метров.

По мнению Гюйгенса, частицы светящегося тела колеблются и сталкиваются с частицами эфира в непосредственной близости, сообщая им свои колебания. Этим колебанием и будет свет, который передастся по цепочке столкновений до клеток наших глаз. Как видите, ученому пришлось прибегнуть к понятию эфира. Опыты Роберта Бойля и Эванджелиста Торричелли уже показали, что звук в вакууме не распространяется — в отличие от света, и Гюйгенс постулировал существование эфира — тонкой и невидимой материи, «сколь угодно приближающейся к совершенной твердости и сколь угодно быстро восстанавливающей свою форму». Частицы эфира занимают промежуточное место между атомами твердых веществ, газов и жидкостей. Гюйгенс также рассмотрел вероятность того, что эфир не проникает в тела, хотя склонялся к тому, чтобы считать материю чем-то вроде губки, в поры которой проникают частицы эфира.

РИС. 5

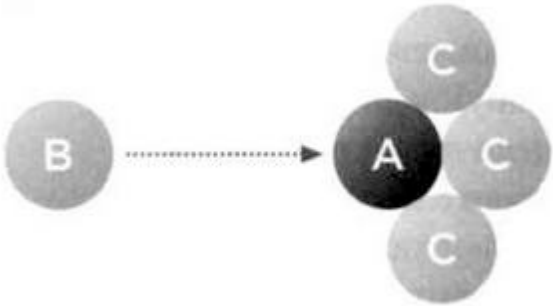


РИС. 6

Локальное колебание частиц, исходящих от источника света, провоцирует цепь столкновений, которые на расстоянии вызывают эффект расширения сферического светового фронта, распространяющегося, как кости домино на рисунке 5, когда падение центральных элементов вызывает падение и остальных.

Эта модель объясняет, почему лучи пересекают границы сред, не взаимодействуя друг с другом. Частицы могут «танцевать» вместе и порождать две цепочки столкновений: «Одна и та же частица материи может служить для распространения нескольких волн, приходящих с разных и даже противоположных сторон...» Возвращаясь к примеру с машиной в пробке, эта частица может передавать удары разным автомобилям, сталкивающимся с ней в разных направлениях, в том числе и одновременно.

Как в примере с домино, каждая падающая кость не только передает свой импульс по радиальной траектории, но и распространяет его все шире и дальше. В случае с домино это объясняется особым расположением костей, из-за которого, падая, каждая увлекает за собой больше одной кости. Гюйгенс моделирует тот же эффект с помощью (см. рисунок 6):

«...если шар, который, как, например, шар А, прикасается к нескольким другим одинаковым с ним шарам С, С, С, толкнуть другим шаром В, то шар А будет действовать на все соприкасающиеся с ним шары С, С, С и передаст им все свое движение; сам же он, как и шар В, останется после этого неподвижным».

В микроскопическом масштабе модель Гюйгенса похожа на огромную партию в трехмерный бильярд, в котором каждый шар передает полученный импульс и останавливается. Каждая частица сохраняет некую свободу движений, как автомобили в пробке, которые все-таки медленно продвигаются вперед, но свет ведет себя, словно бегун эстафеты, передающий факел.

ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА

Хотя Гюйгенс считается основателем современной волновой теории света, мы должны понимать, что он вкладывал в термин «волна» не совсем тот смысл, что последующие ученые. Физическая интуиция Гюйгенса, позволившая ему представить, как передается свет, основывалась на знании о звуке:

«[Свет) распространяется так же, как и при звуке, сферическими поверхностями и волнами: я называю эти поверхности волнами по сходству с волнами, которые можно наблюдать на воде, в которую брошен камень, и которые изображают собой указанное постепенное распространение кругами, хотя оно и происходит от другой причины и в плоской поверхности».

Таким образом, Гюйгенс берет от волн на воде их «постепенное распространение кругами», но предупреждает, что они «имеют другую причину». В частности, волны на поверхности пруда являются поперечными: они распространяются в направлении, перпендикулярном породившему их возмущению. Камень падает вертикально — концентрические круги расходятся горизонтально. Частицы эфира Гюйгенса передают свет главным образом в направлении своего движения, хотя картина их распространения напоминает веер. Ученый никогда не говорил о главных понятиях классической волновой теории, таких как длина волны, фаза, интерференция.

Его построение основывалось на так называемом принципе Гюйгенса: каждая частица, попадающая в световой фронт, сама становится фронтом. Проводя аналогию с домино, распространение начинается с падения одной кости, и каждая падающая кость заставляет падать другие, передавая возмущение в виде веера. В трехмерном пространстве столкновения можно увидеть на разрезе окружности:

«...каждая частица вещества, в котором распространяется волна, должна сообщать свое движение не только ближайшей частице, лежащей на проведенной от светящейся точки прямой, но необходимо сообщает его также и всем другим частицам, которые касаются ее и препятствуют ее движению. Таким образом вокруг каждой частицы должна образоваться волна, центром которой она является».

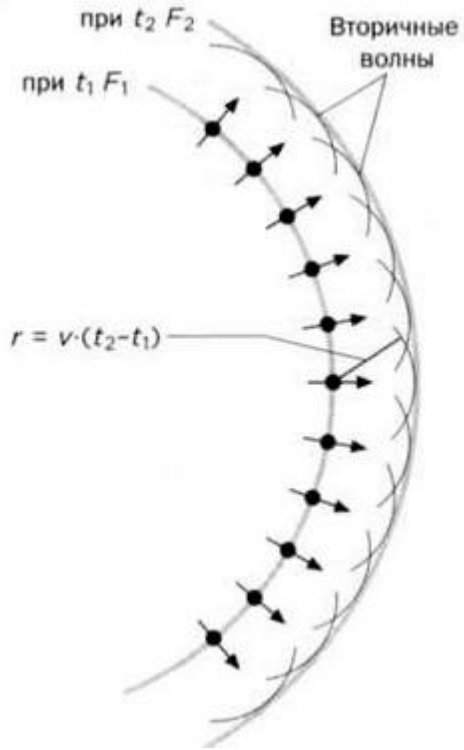


РИС. 7

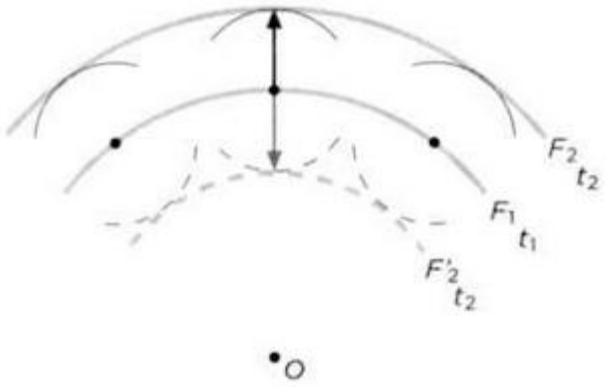


РИС. 8

Согласно этому принципу, зная фронт возмущения в определенный момент (t_1), мы можем точно определить его в любое следующее мгновение (t_2). Достаточно взять каждую точку предыдущего фронта (F_1) за источник новых, вторичных сферических фронтов, которые постепенно распространяются вперед с радиусом $r = v(t_2 - t_1)$. Получившийся фронт (F_2) будет поверхностью, которая покрывает все сферы одновременно в том состоянии, в котором они находятся в каждый момент времени

(см. рисунок 7). В некотором смысле фон из частиц эфира с их столкновениями служит физическим предлогом для использования метода геометрической реконструкции с его набором из линейки и циркуля, который позволяет изобразить распространение возмущения. Физика, разумеется, определяет такие параметры рисунка, как ширина раскрытия циркуля. Вторичные фронты распространяются не в точности так же, как первоначальное возмущение. Маленькие сферы не расширяются внутрь, в направлении источника света О. Каждая точка фронта F_1 порождает вторичную волну, направленную только вовне, создавая F_2. Волны, идущей внутрь, которая могла бы породить F_2, не появляется (см. рисунок 8).

Распространение сферических волн
Каждая точка фронта в момент t_1 является источником сферических волн
Фронт в момент t_1
Фронт в момент t_2

РИС. 9

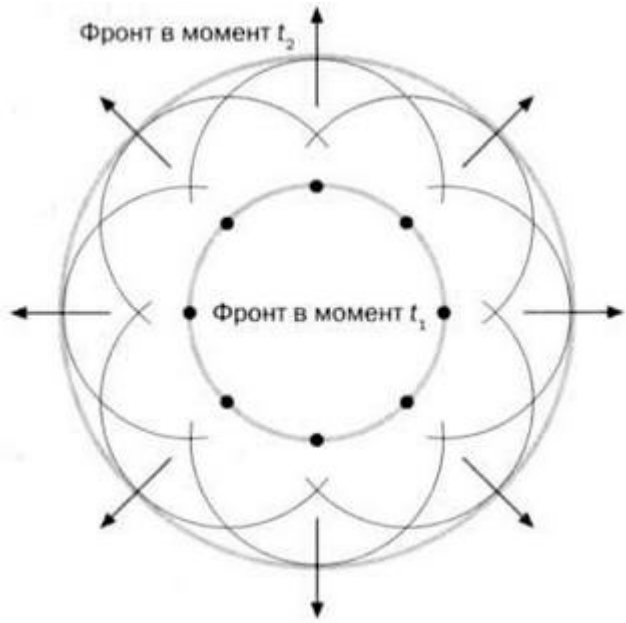


РИС. 10

Надо уточнить, что этот эффект не накапливается, то есть по мере продвижения фронта его интенсивность не нарастает благодаря росту протяженности. В противном случае каждый раз, зажигая лампочку, мы видели бы, что свет от нее увеличивает свою интенсивность и в результате ослепляет нас. Если фронт появляется и угасает, то мы видим свет на мгновение, а потом он исчезает.

Одним из самых простых случаев, к которому можно применить принцип Гюйгенса, является распространение плоских и сферических волн (см. рисунки 9 и 10). Линии, перпендикулярные фронту волн (лучам в случае со сферами), образуют в геометрической оптике световые лучи. Построение Гюйгенса кажется немного громоздким и не до конца продуманным. Почему бы для определения вида нового фронта просто не провести прямую линию за другой или более широкую окружность на нужном расстоянии, в зависимости от скорости распространения света?

Однако этот принцип помогает построить фронты в менее однозначных ситуациях. Например, он позволяет вывести закон Снелля, определив значения числовой постоянной как коэффициент скоростей света в каждой среде. Возьмем плоскую границу между воздухом и стеклом (см. рисунок 11). Принцип Гюйгенса справедлив для обеих сред, но в воздухе (υ_α) скорость света больше, чем в стекле (υ_υ). Гюйгенс предлагает следующее

объяснение этого различия:

«Благодаря тому, что несплошное расположение частиц прозрачных тел имеет указанный нами характер, легко видеть, что волны могут продолжаться в эфирной материи, наполняющей промежутки между частицами. Кроме того, можно думать, что продвижение этих волн должно происходить внутри тел более медленно вследствие тех маленьких изворотов пути, которые обусловливают сами частицы».

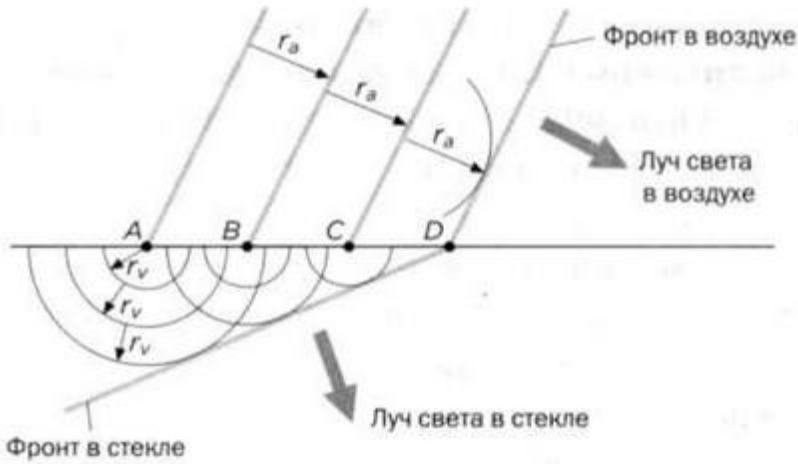


РИС. 11

Частицы эфира передают возмущение быстрее в разреженном воздухе, где они почти не встречают препятствий, по сравнению с пористым лабиринтом прозрачной материи. Чтобы включить в наше построение разность скоростей (υ_a и υ_υ), вторичные сферические волны должны иметь больший радиус в воздухе (r_a) по сравнению со стеклом (r_υ). Другими словами, раскрытие циркуля в одной среде будет больше по сравнению с другой. Мы можем предположить, что в воздухе $r_a = \upsilon_a \cdot t$; в то время как в стекле $r_\upsilon = \upsilon_\upsilon \cdot t$, где $\upsilon_a > \upsilon_\upsilon$, поэтому в одинаковые промежутки времени $r_a > r_\upsilon$.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ЗАКОН СНЕЛЛЯ

Соотношение между углами α и ß легко вычислить при помощи двух треугольников (см. рисунок 1). Первый соединяет A и D с точкой E, которая находится на пересечении перпендикуляра, проведенного к фронту в воздухе, ограниченному D. Второй треугольник соединяет A и D с

точкой F, которая находится на пересечении перпендикуляра, проведенного от A к фронту в стекле. Получаем:

$\sin \alpha = 3r_a/L$, $\sin ß = 3r_v/L$

Разделим два синуса:

$\mathit{Sin}\alpha / \sin ß = r_a/r_v = (v_a \cdot t)/(v_v \cdot t) = v_a/v_v$.

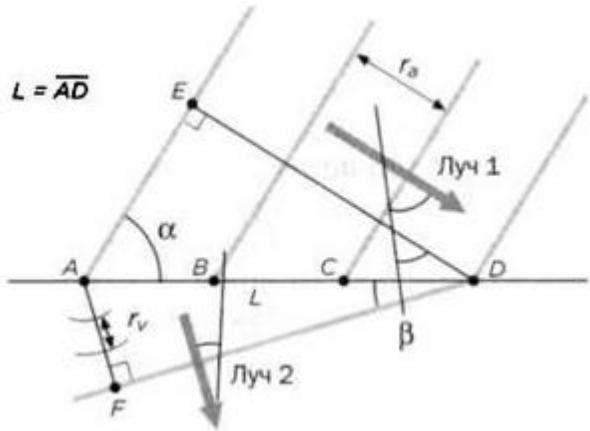


РИС. 1

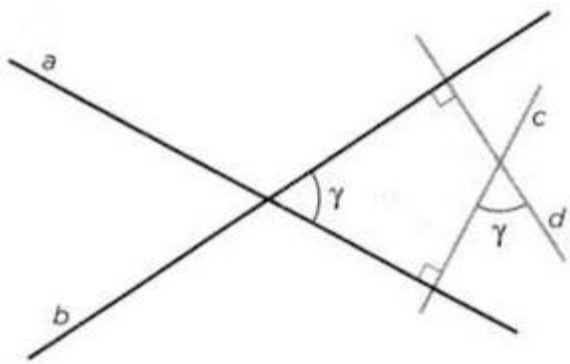


РИС. 2

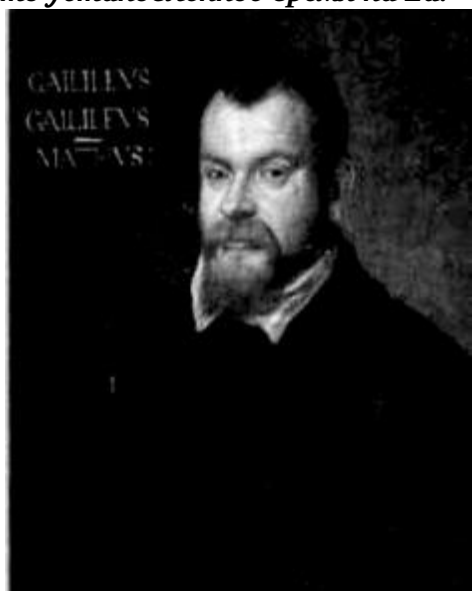
Остается рассмотреть, являются ли углы α и ß теми же, что мы проводим в чертежах в рамках геометрической оптики, в которых ориентиром всегда служит вертикальная линия, а не горизонтальная граница. Для этого достаточно вспомнить, что две прямые образуют между собой тот же угол, что и перпендикулярные им. На рисунке 2 угол между прямыми a и b равен тому, что образуют соответствующие им перпендикуляры a и b. Следовательно, угол между прямыми AE и AD такой же, как и между их перпендикулярами. Перпендикуляр к AE — это луч 1, а перпендикуляр к AD — вертикальная линия.

Та же, что и в геометрической оптике. Что касается угла между прямыми AD и FD, то ему также будет равен угол,

образованный их перпендикулярами — вертикальной прямой и лучом 2.

ПОПЫТКА ГАЛИЛЕЯ

Сегодня всем известно, что в вакууме свет проходит за одну секунду 300 тысяч км. Однако на протяжении столетий вычислить это огромное значение было невозможно, и вплоть до эпохи Гюйгенса многие полагали, что свет распространяется мгновенно. Галилей предложил довольно дерзкий эксперимент по измерению скорости света. Опыт состоял в том, чтобы темной ночью поставить двух наблюдателей на вершинах двух холмов, расположенных на расстоянии нескольких километров друг от друга. У каждого из них была лампа с глазком, который открывался и закрывался, позволяя увидеть и сразу же скрыть свет. Галилей, открыв задвижку в своей лампе, сразу же запускал хронометр. Свет должен был преодолеть расстояние между холмами. Его помощник, увидев световой сигнал, зажигал в ответ свою лампу. Ее свет должен был пройти в обратную сторону и как только достигал Галилея, тот останавливал хронометр. Поскольку расстояние между холмами было известно, чтобы получить искомую скорость, нужно было просто разделить установленное время на 2d.



Портрет Галилея, приписываемый Франческо Аполлодоро.

Невозможное измерение

Однако опыт не удался. Как только Галилей открывал глазок своего фонаря, он тут же видел свет на соседнем холме. Единственная задержка во времени объяснялась промедлением самих экспериментаторов. Свет, словно угорь, ускользал из сетей Галилея. Он не предполагал, что даже если бы его хронометр мог отмерять десятые доли секунды, расстояние между наблюдателями должно было превышать диаметр Земли — только в этом случае они получили бы разницу во времени, которую можно измерить.

Повторим, что лучи света в геометрической оптике являются линиями, перпендикулярными к волновому фронту. Когда фронт касается точки A на границе, столкновение между частицами эфира вызывает распространение света в стекле. По прошествии некоторого времени воздушный фронт продвигается на длину радиуса r_a и достигает пограничной точки B, вызывая в ней второй фронт сферических волн. Тем временем сферический фронт A расширился внутри стекла на меньший радиус, r_U. То же самое происходит, когда фронт затрагивает точки C и D. За каждый промежуток времени фронт в воздухе продвинется на расстояние r_a, а фронт в стекле — на r_U.

В каждую секунду фронт в стекле является поверхностью, которая охватывает все сферы (окружности на рисунке). Это построение позволяет нам вычислить угол между направлениями, в которых распространяются лучи света в воздухе и в стекле.

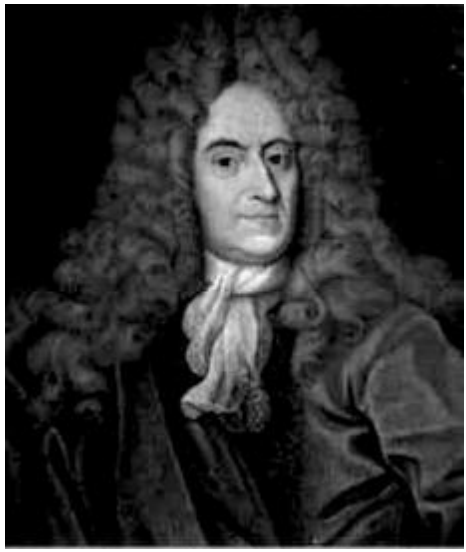
Корпускулярная теория Ньютона объясняла преломление разной скоростью распространения света, но ее микроскопический сценарий был противоположным: согласно корпускулярной теории, скорость света была выше в более плотных средах. По Ньютону, свет является потоком частиц. Приближаясь к границе двух сред, частицы испытывают большее притяжение к более плотному материалу и ускоряются. Такое ускорение возникает только перпендикулярно границе, препятствуя распространению света внутрь фронта.

Чтобы высказаться за одну из этих моделей, следовало проверить каждую экспериментальным путем, но в XVII веке еще не существовало технических способов измерить скорость света в воздухе или стекле. Ученые смогли определить ее только в

космосе при помощи астрономических наблюдений, вычислив распространение света в вакууме. Прошло сто лет после смерти Ньютона, прежде чем французский физик Леон Фуко в своей лаборатории обнаружил, что свет распространяется в воде медленнее, чем в воздухе. Корпускулярная теория переживала не лучшие времена и вновь ожила только после того, как Эйнштейн ввел в свое механико-квантовое описание света фотоны.

ХРОНОМЕТРАЖ СВЕТА

Аппарат, находящийся в точке A, каждые 10 секунд выстреливает мячом с постоянной скоростью V. Человек B, который стоит на расстоянии нескольких метров прямо перед аппаратом, через некоторое время ловит мяч; представим, что это время равно 2 секундам. Если B не двигается со своего места, то он будет ловить мячи с той же частотой, с которой A их бросает: каждые 10 секунд. Мячи не будут долетать до него мгновенно, но поскольку они затрачивают одно и то же время на преодоление одного и того же расстояния, регулярность A будет воспроизводиться и для B. Что произойдет, если B начнет отходить от A по прямой линии? Каждый последующий выбрасываемый мяч должен будет преодолеть все большее расстояние, следовательно, будет увеличиваться и затрачиваемое мячами время. Мяч долетит до B не за 2 секунды, а за 2,5 секунды, или за 3, или за 3,5 и так далее. Если бы B не осознавал, что отдалился, то ему казалось бы, что мячи долетают до него с опозданием. Как только он прекратит движение, регулярность восстановится. Если же через некоторое время B вновь сдвинется с места, на сей раз приближаясь к аппарату, то мячи каждый раз должны будут преодолевать все меньшее расстояние.



Оле Рёмер.

Охота за светом

Датский астроном Оле Рёмер наблюдал подобное явление между 1671 и 1676 годами. Он, правда, изучал не регулярное выбрасывание мячей, а затмение Ио, одного из спутников Юпитера, который заходил за саму планету. Поскольку орбитальный период Ио был регулярным, спутник должен был скрываться из виду в регулярные промежутки времени. Однако Рёмер установил, что в течение одного полугодия затмение наступало раньше, а в течение второго — позже. Другими словами, в течение шести месяцев Земля, двигаясь вокруг Солнца, приближалась к Ио, а в течение следующих шести месяцев — отдалялась. Со светом происходило то же самое, что и с мячом, летящим от А к В: время его движения зависело от расстояния до летящей в космосе Земли. Считается, что Гюйгенс впервые использовал значения временных промежутков, установленные Рёмером, чтобы высчитать скорость света. По его подсчетам, она равнялась 214000 км/с. Это вполне хорошее приближение, учитывая неточность имевшихся в то время данных о расстояниях между планетами.

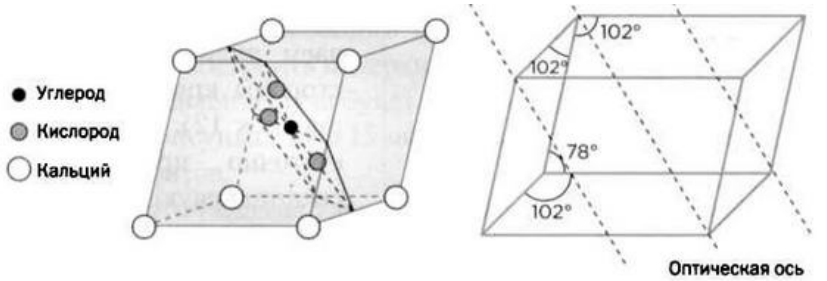


РИС. 12

ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ НЕОБЫЧНОГО ЛУЧА

Принцип Гюйгенса описывает и преломление света, но, несомненно, самым эффектным его применением является изящный анализ двойного лучепреломления. Ньютон с большим трудом попытался объяснить это явление в рамках корпускулярной теории, но в результате создал только очень запутанную формулировку, согласно которой у каждого луча было «четыре стороны или четверти, две из которых были причиной свойства, вызывающего необычное преломление, а другие две не имели к ней отношения».

Главным достижением Гюйгенса был вывод: хотя необыкновенный луч и не подчиняется закону Снелля, он все-таки соответствует ему при некоторой адаптации закона. Рассмотрим расположение атомов в кусочке шпата, благодаря которым этот минерал и проявляет свои особые оптические свойства. Мы получим ромбоэдр с шестью одинаковыми сторонами, каждая из которых является ромбом с двумя тупыми углами (по 102°) и двумя острыми углами (по 78°). Они располагаются так, что три тупых угла сходятся в двух противолежащих вершинах. В оставшихся вершинах сходятся два острых угла и один тупой.

Чтобы построить необыкновенный луч, Гюйгенс брал за основу элемент симметрии кристалла — его оптическую ось. На самом деле это не ось, а, скорее, направление — единственное, в котором свет не расщепляется, попадая на поверхность минерала. Чтобы обнаружить его, достаточно вращать кристалл перед лучом света, пока он не будет направлен так, что один из двух выходящих из него лучей пропадет. Это направление можно определить и при помощи геометрии. От одной из вершин, в которых сходятся углы 102°, проводится воображаемая линия, образующая такой же угол с тремя сторонами, сходящимися в

этой вершине. Самым простым случаем является тот, когда все стороны кристалла равны (см. рисунок 12). В этом случае достаточно провести прямую, соединяющую две противолежащие вершины, в которых сходятся тупые углы.

РИС. 13

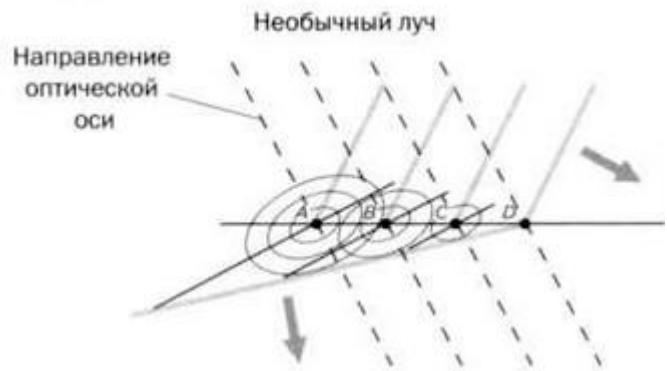


РИС. 14

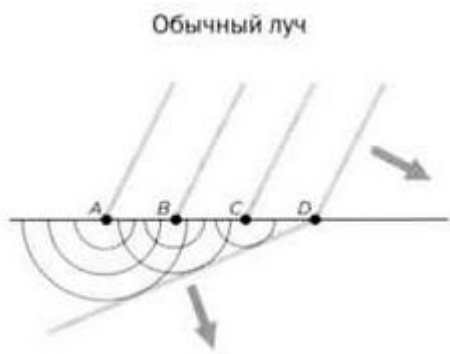


РИС. 15

После того как мы нашли оптическую ось кристалла, у нас есть все необходимые элементы для получения новых фронтов в соответствии с принципом Гюйгенса. Главное нововведение заключается в том, что каждая точка кристалла, подверженная возмущению светового фронта, становится генератором двух типов вторичных фронтов. Один из них будет сферичным и объяснит появление обычного луча. Второй примет форму яйца или, вернее, эллипсоида.

Эллипсоиды не так симметричны, как сферы: их облик меняется в зависимости от того, как они ориентированы. В каком направлении должны располагаться их оси? Ответ заключается в геометрических свойствах кристалла. Эллипсоиды располагаются так, что их меньшая ось остается параллельной оптической оси. Длина этой меньшей оси совпадает с диаметром сфер, так как скорость распространения обоих фронтов вдоль оптической оси одинакова. На двумерных рисунках обычный фронт будет определен расширяющимися окружностями, а вторичный — эллипсами (см. рисунок 13).

Теперь проследим шаг за шагом распространение необычного луча (см. рисунок 14). Как и в случае с обычным преломлением, фронт волн, распространяющихся в воздухе, затрагивает поверхность стекла в точке A, вызывая образование вторичного фронта. Когда фронт в воздухе достигает B, в A уже образовался эллипсоид, меньшая ось которого параллельна оптической. Для большей ясности на рисунке показаны полные эллипсы, хотя та часть, которая остается в воздухе, не играет никакой роли. Как и в случае с обычным преломлением, вторичные фронты распространяются только внутрь кристалла. Чтобы определить вид необычного фронта в определенный момент, достаточно построить поверхность, покрывающую все эллипсоиды. Направление луча будет перпендикулярно фронту, как всегда. На рисунках 14 и 15 показано параллельное построение двух

фронтов.

Любопытно, что Гюйгенс уделяет в своем «Трактате о свете» очень много внимания геометрическому построению этих фронтов и очень мало — их объяснению с точки зрения физики. Почему второй эллипсоидальный фронт порождается только в исландском шпате, но не в остальных прозрачных материалах, известных на тот момент? Гюйгенс ограничивается записью:

«Мне казалось, что правильное расположение или размещение этих частиц [образующих кристалл] могло способствовать образованию сфероидальных волн (для чего требовалось только, чтобы последовательное движение света распространялось немного быстрее в одном направлении, чем в другом), и я почти не сомневался в существовании в этом кристалле такого размещения равных и подобных частиц вследствие определенности и неизменности его формы и углов».

Сферы соответствуют равным отрезкам распространения света во всех направлениях. Нарушение этой симметрии деформирует сферу, вытягивает ее в тех направлениях, в которых свет распространяется быстрее, что и порождает эллипсоид. Но все же почему именно исландский шпат вызывает эту асимметрию? Гюйгенс предполагает, что ответ надо искать в расположении частиц, образующих кристалл, но не дает никаких дальнейших указаний. Разумеется, он понимал, что его предположение не является исчерпывающим решением вопроса. Ученый заканчивает исследование шпата, рассказывая о том, что двойное лучепреломление исчезает, когда свет проходит через второй кристалл. Со всей научной честностью он описывает это явление как открытый вопрос:

«Хотя я еще до сих пор не нашел его причины, все же хочу указать на него, чтобы предоставить возможность другим отыскать эту причину».

ГЛАВА 4
Время в его руках

Время стало одним из главных завоеваний научной революции XVII века. Гюйгенс первым создал часы, которые были достаточно точными, чтобы служить измерительным инструментом. Его проект маятниковых часов является великолепным симбиозом геометрии, физики и механики.

Париж дал Гюйгенсу все, о чем тот мечтал. Пятнадцать лет ученый активно работал в одном из главных государственных научных центров, но платой за такую удачу стала потеря душевного равновесия. Однажды в январе 1670 года он сильно замерз и почувствовал, что заболевает. Сначала недомогание сочли обычной простудой. Однако вскоре оказалось, что заболевание имеет более глубокие корни: пострадало не только тело Гюйгенса, но и его разум. Месяц спустя ученого навестил Франсис Вернон, секретарь британского посольства. Он обнаружил исследователя в кровати, повсюду были разбросаны рукописи. Это были работы, которые он не мог закончить десятилетиями. Вернон заметил у Гюйгенса пугающие симптомы:

«Его слабость и бледность лица ясно показывали, до какой степени болезнь подорвала его здоровье. Но дело было не только в этом, я увидел нечто худшее, что нельзя узреть ни одним глазом и почувствовать ни одним органом чувств. Это было разложение духа, огромная потребность в отдыхе, которую плохо понимали и он сам, и те, кто занимался его состоянием. Не зная, чего ожидать, он приготовился к худшему».

Гюйгенс, убежденный в скорой смерти, собрал все свои самые ценные открытия и попросил Вернона передать их в Лондонское королевское общество. Этот поступок показывал, что он не очень-то доверял своим французским коллегам. Возможно, секретарь британского посла был излишне пристрастен и исказил слова Гюйгенса, но, может быть, и нет:

«Он сказал, что желал скорейшего развала Академии, потому что видел ее зараженной завистью, утверждал, что она держится только на ожидании будущих благ и полностью зависит от настроения государя и от благоволения министров. Если бы энтузиазм кого- либо из них угас, все это собрание перестало бы существовать».

Долгие недели ученый пребывал в неведении о причинах своей болезни и, казалось, находился под воздействием Сатурна — планеты, под которой он родился и которую традиционно

связывают с меланхолией. Его осмотрел придворный врач Антуан Вайо, но за три столетия до изобретения антидепрессантов единственным средством в подобных ситуациях считалось избегание цельного молока, которое якобы усиливает грусть. Как только Гюйгенс почувствовал себя в состоянии перенести долгое путешествие, он покинул Францию и отправился в Гаагу, в свой старый дом, где и провел остаток зимы. В окружении семьи, среди заботы родственников и друзей, темное облако рассеялось, и к концу года у ученого вновь стал появляться вкус к жизни.

ГОЛЛАНДЕЦ В ПАРИЖЕ

Вернувшись в Париж, Гюйгенс оказался в довольно беспокойной обстановке. В истории Нидерландов 1672 год запомнился как Год бедствий. Стране пришлось вести практически безнадежную войну на четырех фронтах: против Франции, Великобритании, Мюнстера и Кельна. Выглядывая из окна своего парижского дома, Гюйгенс слышал крики, скрип колес, голоса разгоряченных солдат, которые направлялись на его родину, чтобы завоевать ее. Свое новое сочинение, которое сам Гюйгенс считал фундаментальным, Horologium oscillatorium («Маятниковые часы»), он посвятил Людовику XIV. Многие голландцы не простили ученому этот жест. Трактат был напечатан во французских типографиях несколько месяцев спустя после начала военных действий, и научной части предшествовало воодушевленное восхваление французского монарха. Когда голландцам, проживающим в Париже, было приказано покинуть страну, для Гюйгенса было сделано исключение.

Осенью в двери Королевской библиотеки постучал молодой человек. Это был 26-летний Готфрид Вильгельм Лейбниц, который хотел изучать математику. Гюйгенс согласился обучать юношу, и так родилась дружба, в которой ученик и учитель очень скоро поменялись местами.

Для Гюйгенса наука была пространством, в котором он мог укрыться от суровости мира, но удовольствие, которое он получал от исследований, давало все больше побочных эффектов. Он больше не был подающим надежды юношей, влекомым исключительно своим любопытством, который часами в одиночку или вдвоем с братом шлифовал линзы, а астрономы и математики поощряли его, поскольку не видели в нем соперника. Профессиональные занятия наукой, управление государственной организацией, которая подчинялась королю и его министрам,

сделали Гюйгенса мишенью для академических интриг и зависти. Все это было ему глубоко неприятно. К тому же в Париже он был представителем вражеской страны, получающим большое жалованье, а значит, ему постоянно следовало добиваться все новых и новых результатов, оправдывавших его положение. Зависть к Гюйгенсу и личная неприязнь стали маскироваться за подозрениями к нему как к иностранцу, возможному шпиону или еретику. В довершение ко всему в 70-е годы XVII века ученый оказался втянут в ожесточенные споры с противниками, не отличавшимися особой дипломатичностью.

Среди них был один из наиболее выдающихся членов Академии, Жиль де Роберваль, автор гипотезы, согласно которой кольца Сатурна объяснялись паром, исходившим от экватора планеты. Его описывали как человека «импульсивного, вспыльчивого, нетерпеливого в спорах». С Гюйгенсом Роберваль вел дискуссию о гравитации. Даже Роберт Гук, плодовитый и проницательный ученый, высмеивал Гюйгенса, считая, что тот хочет украсть у него первенство открытия часовой пружины. Из-за часов же у ученого возник конфликт и с придворным часовщиком Исааком Тюре, который усовершенствовал проект Гюйгенса и хотел, чтобы честь создания маятниковых часов приписывалась ему. Гюйгенсу доставлял удовольствие сам процесс исследования, он жил радостью научных открытий, но ленился публиковать свои достижения и ненавидел интриги и споры, связанные с его профессией.

В личной жизни у него тоже хватало причин для меланхолии. С годами Гюйгенс становился все более одинок. Его братья и сестра один за другим создавали собственные семьи. В 1660 году вышла замуж Сюзанна, в 1668 году — Константин, в 1674 — Лодевейк. Последнему Христиан сообщил о создании часовой пружины такими словами:

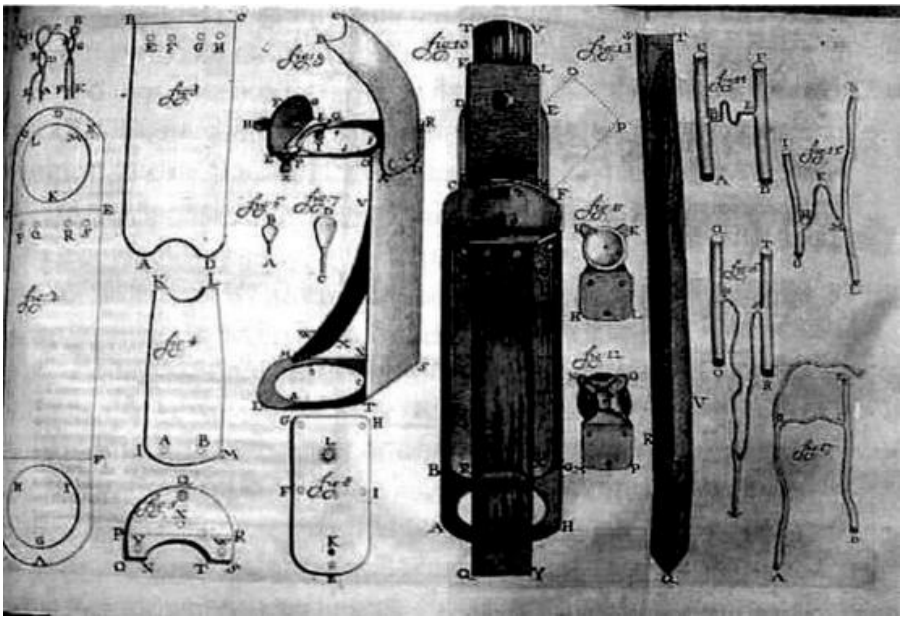
«У тебя есть прекрасный сын, а у меня дочь — открытие, прекрасное в своем роде. Она проживет долгую жизнь в компании своей старшей сестры, маятника, и брата — кольца Сатурна, как дети Эпаминонда».

Греческий главнокомандующий, о котором упоминал Гюйгенс, тоже никогда не был женат и не имел детей, из-за чего фиванцы упрекали его, говоря, что он плохо заботится о родине, если лишает государства своих потомков. Но, в отличие от Эпаминонда, Гюйгенс был обеспокоен сложившейся ситуацией. В его переписке встречаются упоминания о каких-то романтических отношениях и даже ведутся разговоры о браке, но, как это было свойственно ученому, эти разговоры так и не получили воплощения. Гюйгенс остался одинок до конца своих дней.

Если первая депрессия настигла его внезапно, то причин для ее возвращения становилось все больше. По мере того как Франция убеждалась в невозможности захватить Нидерланды, ситуация при Версальском дворе становилась все деликатнее. Предполагалось, что война станет краткой и победоносной, но как это часто бывает, жизнь откорректировала эти планы.

ТЕЛЕСКОП НАОБОРОТ

Отец ученого, Константин Гюйгенс, был так увлечен микроскопией, что всегда носил с собой мощное увеличительное стекло. Эта привычка появилась у него во время работы послом в Лондоне, где он познакомился с изобретателем Корнелиусом Дреббелем. Константин приложил немало усилий для распространения сочинений Антони ван Левенгука, который не знал латынь. Левенгук был самоучкой, но обладал невероятным талантом в создании микроскопов с одной линзой, диаметр которой измерялся в миллиметрах. После прочтения «Микрографии» Роберта Гука и благодаря своему любопытству, прозорливости, дисциплине он стал первым великим исследователем жизни в микроскопическом масштабе. В воде из пруда, слюне Левенгук находил мириады крошечных организмов, «зверюшек», как он их называл, которые имели весьма необычные формы. Самым известным его открытием стали сперматозоиды, и это произвело революцию в теориях о размножении живых существ. Однако Гюйгенс не мог ограничиться переводами текстов Левенгука и копированием его рисунков. Он использовал свои исследования по сферической аберрации и математические знания о преломлении, чтобы улучшить форму линз микроскопов и освещение образцов, а также наблюдал инфузории (одноклеточные организмы, живущие в воде) и бактерии.



Микроскопы, нарисованные Левенгуком.

Голландцы показали себя прекрасными учениками Симона Стевина: они открыли плотины, превратив страну в неприступный остров, и с большим искусством возводили укрепления. Понять, до какой степени эта война вызвала ненависть французов к голландцам, можно по тем следам, которые она оставила в фольклоре. Во время осады Маастрихта погиб Д'Артаньян (персонаж Дюма и капитан отряда мушкетеров, которые вдохновили писателя), а в народе появилась песня, известная до сих пор — «Aupres de ta blonde» («Рядом с моей белокурой»), в которой молодая женщина оплакивает мужа, «погибшего от руки голландцев». В обществе имя Гюйгенса тесно ассоциировалось с ненавистным Оранским двором, и симпатии Людовика XIV к голландскому председателю его Академии не могли не таять. Гюйгенс смог остаться в Париже только благодаря протекции Кольбера.

В конце февраля 1676 года Константин снова выражал свое беспокойство в письме к другу: «Меня не покидает большое волнение за моего любимого брата в Париже, чья меланхолия длится уже долгое время». Неделю спустя он в отчаянии писал: *«Я не знаю, что означает эта болезнь, что о ней думать. У него нет температуры, и врачи уверяют меня, что я не должен питать серьезных опасений. Но его болезнь проникла так глубоко […]».*

ВОЗВРАЩЕНИЕ В НИДЕРЛАНДЫ

В марте Гюйгенс поторопился вернуться в Гаагу. На сей раз он продлил пребывание здесь как можно дольше, поскольку сомневался, стоит ли ему вообще возвращаться во Францию. Возможно, он обнаружил свои старые рабочие инструменты, с помощью которых создавал свои телескопы, и вспомнил об увлечении диоптрикой. Ученый отвлекался от своих волнений и страхов, проводя время за проектированием микроскопов.

Только в июне 1678 года Гюйгенсу удалось собрать всю силу воли, чтобы вернуться в Париж. Депрессия находила на него, как туча, нападала, как лихорадка, пропадала и сразу же возвращалась. Каждую зиму из-за холодов и нехватки света ученый переживал кризис. В начале 1681 года он снова уехал на родину и медленно там выздоравливал, уверенно заявляя: «Я не хочу оставаться во Франции, потому что там я заболевал уже три раза и боюсь, как бы не заболеть опять». Возможно, Гюйгенс почувствовал некую связь между Парижем и своим недомоганием и считал, что если вернется на берега Сены, то там и умрет. Казалось, французы тоже были заинтересованы в том, чтобы ученый как можно дольше оставался на родине. В 1683 году умер Кольбер, один из главных сторонников Гюйгенса, а два года спустя был отменен Нантский эдикт, охранявший религиозную свободу подданных-протестантов. Так закончился непростой французский период в жизни ученого.

Я посвящаю часть того немногого времени, которое мне осталось, решению задач моего любимого Архимеда.
Христиан Гюйгенс в письме Анри де Берингену

В отличие от хрупкого Христиана, его отец отличался крепчайшим здоровьем. Лишь в 80 лет он начал постепенно отходить от государственных дел, передав свое место старшему сыну. Из-за подагры Константин не мог играть на музыкальных инструментах и утешал себя, сочиняя поэму о старости, в которой, казалось, больше говорил с мертвецами («с немыми тенями», как он их называл), чем со своими друзьями. В итоге 60 лет активной деятельности, постоянной защиты интересов короля и принцев оставили после себя горький привкус, который чувствуется в эпитафии, сочиненной Гюйгенсом-старшим на смерть своей собаки: «Лучше бы (и если бы было так, мир не стал бы хуже), чтобы мой пес был жив, а умерли все великие мира сего». Теперь его волновали не вопросы государственной важности, а здоровье сына. Константин предложил Христиану

должность, которую занимал при дворе Вильгельма III, но ученый чувствовал усталость от придворного рабства. В этой атмосфере интриг, где отец чувствовал себя как рыба в воде, его сын задыхался и тонул. Тогда Константин сделал так, чтобы Христиан получал часть жалованья, которое полагалось ему от Оранских.

Константин Гюйгенс до самой смерти сохранял ясность разума и умер незадолго до своего 91-го дня рождения, в страстную пятницу 1687 года. Траурный кортеж состоял из 15 карет, перекрывших все движение в Гааге. Казалось, хоронят главу государства. По завещанию дом на площади Плейн перешел старшему сыну, а Христиан переехал в Хофвик, летнюю резиденцию семьи. Там, в уединении, он переживал потерю отца. Через пять дней после переезда Гюйгенсу стало казаться, что он в ссылке:

«За это время я еще ни разу не съездил в Гаагу и не получил из города никаких новостей. Это кажется мне преддверием одинокого существования, с которым мне надо начинать сживаться».

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА» И ПОЕЗДКА В ЛОНДОН

В своем заточении Гюйгенс утешался чтением объемного бестселлера — Philosophiae naturalis principia mathematica {«Математические начала натуральной философии») Исаака Ньютона. Перед тем как передать ученому копию этого сочинения, Эдмунд Галлей предупредил его, что Ньютон осмеливался оспаривать Декарта. Но Гюйгенса мало волновало, что другие занимались его любимым хобби: «Мне не важно, что он не следует за Декартом, если при этом он не говорит всяких глупостей, например о притяжении». Ученый имел в виду действие на расстоянии, то есть возможность того, что два тела влияют друг на друга без механического взаимодействия, такого как столкновение. Гюйгенс на несколько месяцев удалился от мира. В ноябре он возобновил переписку и первым делом написал брату Константину о небольшой перемене в своем настроении:

«Я провел всю зиму в Хофвике, где на мою долю выпало несколько ужасных ночей из-за ненастья. Но в конце концов ко всему привыкаешь. [...] Мне хотелось бы посетить Оксфорд [на самом деле Кембридж), хотя бы и только для того, чтобы познакомиться с Ньютоном. Прочитав сочинение, которое он мне прислал, я остался в восхищении перед его потрясающими открытиями».

Ньютон и Гюйгенс могли придерживаться разных мнений по

многим научным вопросам, но уважали друг друга. Ньютон особенно хвалил физическую геометрию Гюйгенса, его подход. Когда Ричард Бентли, выдающийся гуманист Оксфордского университета, попросил у Ньютона совета, прежде чем погрузиться в чтение его книги, тот ответил: «Если вам удастся раздобыть «Маятниковые часы» Гюйгенса, то внимательное изучение этой работы позволит вам основательно подготовиться к прочтению моей». Как свидетельствует Генри Пембертон, готовивший третье издание «Начал», Ньютон считал нидерландского ученого «самым изящным из всех современных писателей о математике и самым совершенным последователем древних».

В работе Ньютона Гюйгенс оценил великолепные математические описания, но не видел их физического значения. Например, откуда бралась сила земного притяжения? В этом смысле Гюйгенс был гораздо ближе к Декарту, который пытался объяснить ее как столкновение частиц эфира, отклоняющих тела и сближающих их. Для Христиана было немыслимо, что материя осуществляет мгновенное притяжение просто по факту своего наличия. Это походило на трюк фокусника, который потрясает волшебной палочкой, чтобы приподнять своего помощника. Любое физическое возмущение должно было передаваться посредством прямого контакта между массами, как это происходило в его теории света. Гюйгенс пишет о «Началах» со смесью восхищения и скепсиса:

«Я высоко ценю его проницательный ум и его тонкость, но считаю, что по большей части автор применяет их, чтобы прийти к ошибочной цели, изучая темы, не представляющие большой пользы, или опираясь на невероятный принцип притяжения».

Однако в этом труде Гюйгенс увидел ясное подтверждение возможностей выдающегося ума Ньютона. Он признавал, что «об этих материях не было написано ничего лучшего и более умного».

В середине июня ученый приехал в Лондон и почувствовал себя так хорошо, как никогда ранее в путешествиях за границу. За два месяца в Вестминстерском аббатстве состоялась коронация жителя Гааги Вильгельма III. В его свите, приехавшей из Нидерландов, был и брат Гюйгенса Константин. Христиан не должен был выполнять никаких государственных поручений, поэтому просто наслаждался своим пребыванием в столице. В этот раз в Грешем-колледже прошли самые необычные лекции в истории науки: по иронии судьбы Гюйгенс прочитал доклад о земном притяжении, а Ньютон — о двойном лучепреломлении в исландском шпате. Ученые много беседовали тем летом, но мы не знаем подробностей их разговоров. Впоследствии Гюйгенс кратко

упоминал Лейбницу, что Ньютон рассказывал ему о «некоторых великолепных экспериментах». Ученый также постарался использовать влияние своей семьи на нового короля, чтобы помочь Ньютону занять место директора Королевского колледжа в Кембридже, но безуспешно. Кроме этого, Гюйгенс встретился с Бойлем, который принял его в своей лаборатории со всеми почестями.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

После некоторого времени в Лондоне, в обществе блестящих ученых, Гюйгенсу показалась невыносимой жизнь отшельника в Хофвике. «Я не могу даже думать о том, чтобы провести зиму здесь, в этом одиночестве», — писал ученый брату Константину. Его дух метался: ученый не выносил напряженной и угодливой атмосферы академии, но и уединенная жизнь была не для него. Душа Гюйгенса не могла обрести гармонии ни в Версале, ни в голландской деревне. В конце года он предпринял еще одну попытку достичь душевного равновесия и снял квартиру в Гааге, в Нордейнде. С этого момента ученый стал проводить полгода в деревне и полгода — в городе.

В феврале 1690 года он возобновил переписку с Лейбницем и отправил тому свой «Трактат о свете». Бывший ученик отвечал, что изобрел революционный инструмент — математический анализ. Сначала Гюйгенс честно ответил, что этот метод показался ему «довольно неясным». Но все же Лейбниц смог разбудить его любопытство и даже устроил своему наставнику ускоренный курс по переписке. Однако даже после объяснений Лейбница Гюйгенс не увидел в анализе большого смысла. Ученый был в состоянии решить любую задачу, поставленную Лейбницем, с помощью геометрического подхода. В ответе на письмо французского математика Гийома Лопиталя, в котором обсуждался тот же вопрос, Гюйгенс писал: «Я не вижу необходимости в методе исчисления господина Лейбница и не считаю его таким полезным, как утверждает он сам». Однако для остальных, тех, кто не обладал виртуозностью Гюйгенса, этот новый язык, посредством которого физика выражалась вплоть до XX века, показался подарком небес. Если, используя геометрический метод, приходилось вырабатывать уникальную стратегию в зависимости от каждой задачи, то математический анализ предлагал единую технику и системный подход. Изобретение Лейбница (и Ньютона — между этими учеными

развернулась настоящая война за право первенства) дало сильнейший толчок к развитию математической физики. Оно позволило легко получать результаты, для которых в противном случае необходимы были тщательные расчеты или гениальные озарения. Но то, что все считали главным достоинством нового метода, по мнению Гюйгенса, было его большим недостатком: он заявлял, что использование готовых формул нарушает связь между физической интуицией и явлениями.

«КОСМОТЕОРОС»

Пока разум Гюйгенса оставался ясным, он продолжал питать его научное любопытство. Возможно, чтобы отдалиться от Земли, которая казалась все менее гостеприимной, в последней своей работе ученый решил заняться сферой, скрытой за облаками. В «Космотеоросе» он совершает космическое путешествие, в котором люди и их невзгоды находятся на втором плане. На страницах этого сочинения Гюйгенс подробно разбирает свои астрономические открытия, а также описывает видение мира с точки зрения физики, не упуская возможности вновь покритиковать Декарта и, наконец, отдаваясь удовольствию строить простые предположения. Ученый принял за истину, что на других планетах существует разумная жизнь, и попытался представить анатомию их обитателей и устройство их общества. Он фантазировал о животных в 15 раз крупнее слонов, которые пересекали равнины Юпитера, и о жителях Венеры, гораздо более одаренных в музыке, чем земляне. «Космотеорос» стал предвестником научной фантастики: фантазия в нем едва не переходила за границы имевшихся тогда знаний.

Книга написана в виде двух длинных писем брату Константину. Когда читаешь их, кажется, что присутствуешь при одном из разговоров, которые братья вели в юности, рассматривая небо звездными ночами в созданные ими телескопы.

Если говорить кратко, он был одним из главных украшений нашей эпохи.

Лейбниц о Гюйгенсе

Гюйгенс вернулся из Лондона с ощущением, что попрощался со всеми. В своей тетради он записал что-то вроде внутреннего диалога, в котором говорил о своих страхах:

«Тебе хотелось бы быть бессмертным? Почему бы и нет, если у тебя останется сильное и здоровое тело и сильный и здоровый рассудок? Но если старость принесет с собой физический упадок и слабоумие, разве ты не предпочтешь умереть или найти выход самостоятельно?»

В 65 лет Гюйгенс уже и не надеялся на бессмертие. Слабое здоровье отнимало у него все больше дней и часов, и ученый смирился с этим постепенным угасанием: «Я вижу, что в конце концов человек привыкает ко всему этому». Его ум, главный союзник в невзгодах, стал главным врагом исследователя: «Разум заражает все, с чем имеет дело, своей мерзкой болезнью». В марте 1695 года Гюйгенс позвал своего адвоката, чтобы составить завещание. В нем он выразил желание, чтобы Константин занялся изданием «Космотеороса», будучи уверенным, что сам не успеет опубликовать книгу. В середине весны Константин покинул дворец в Уайтхолле и пересек море, чтобы увидеться с братом в его апартаментах в Нордейнде, в Гааге. В последние дни Гюйгенс всерьез опасался потерять рассудок. Ему казалось, что его хотят отравить; у него появилась привычка наносить себе раны кусками стекла. В ночь на 9 июля ученый наконец освободился от всех тревог и волнений.

ДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Пытаясь физически описать движение тел, Галилей столкнулся с проблемой измерения времени. Он должен был регистрировать расположение тел в каждый момент времени с достаточной точностью, чтобы затем адаптировать свои наблюдения к математическим моделям. Расстояние определялось довольно точно, но вот временная составляющая была более неуловимой. На палке можно сделать зарубки на одинаковом расстоянии друг от друга, но каким образом можно обозначить равные интервалы времени, которое мы не можем потрогать? Какие природные явления имели требуемую регулярность и могли служить точкой отсчета?

Возможно, неслучайно великие достижения древних в механике ограничивались областью статики и изучением ситуаций равновесия, в которых системы не меняются с течением времени. Историки науки долгое время пытались установить, какие часы мог использовать Галилей для формулировки первых законов о движении. Некоторые считают, что это были клепсидры, или водяные часы; другие — что поскольку ученый

прекрасно играл на лютне, то для получения очень коротких и почти одинаковых промежутков времени он использовал музыку. Были и те, кто вообще ставил под сомнение тот факт, что ученый действительно проводил свои опыты, утверждая, что все открытия Галилея были плодом успешных умопостроений.

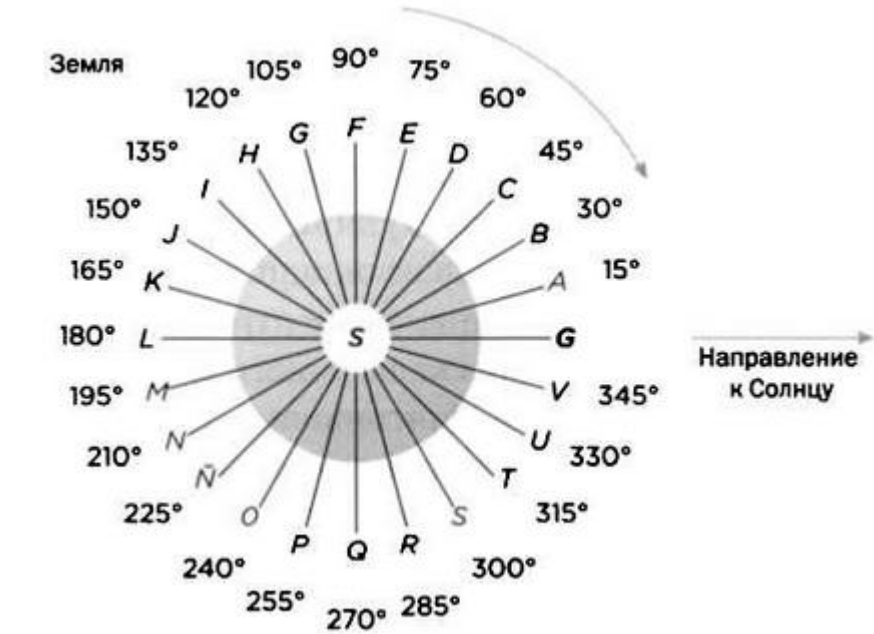
ДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА

Чтобы найти любую точку P на поверхности Земли, достаточно двух чисел. Первое получается, когда мы делим планету на несколько дисков, параллельных экватору. Каждый из них определяется при помощи угла — широты. После того как мы выбрали диск, остается установить, на какой точке его окружности находится P. Для этого необходимо воспользоваться вторым углом, долготой. В случае с широтой естественной точкой отсчета для измерения углов служит экватор, а вот для долготы нужно назначить условную точку. Ею стал Гринвичский меридиан, который проходит от полюса к полюсу через английский городок Гринвич, рядом с Лондоном. На земном шаре с его множеством географических объектов и располагая хорошей картой потеряться довольно сложно. Во всяком случае на суше. А вот на пустой поверхности без каких-либо ориентиров, например на море, начинаются проблемы. Каким образом моряки могли понять, где они находятся, во время долгого опасного плавания?

Широта и долгота

У Земли есть естественные полюса — Северный и Южный — и экватор. Из-за ее движения для наблюдателей-землян небесные тела тоже кажутся движущимися и, таким образом, могут служить ориентирами. Измерив угол между горизонтом и Солнцем (днем) или Полярной звездой (ночью в Северном полушарии) либо Южным Крестом (ночью в Южном полушарии), можно определить широту. С долготой же надо действовать по-другому. Земля полностью оборачивается вокруг своей оси каждые 24 часа, то есть каждый час она поворачивается по часовой стрелке на 15° (24 · 15° = 360°). Мы можем начать наблюдение, когда Солнце стоит над Гринвичем (G). В этот момент там будет полдень, и для его жителей

Солнце будет стоять в самой высокой точке горизонта. В каждый последующий час Гринвич будет отдаляться от этой точки на 15°. По мере вращения нашей планеты все ее точки пройдут через свой зенит (мы не будем учитывать эффект, вызванный наклоном оси). В точке A, расположенной на 15°, это произойдет через час после точки G; в точке B, на 30°, через два часа; в точке N, на 225°, через 15 часов. Таким образом, моряк, у которого есть часы, показывающие время Гринвича, сможет определить свое местонахождение. Когда Солнце достигнет самой высокой точки над линией горизонта (зенита), часы покажут разницу во времени с Гринвичем, а значит, и количество градусов, отделяющих его от этого меридиана, то есть долготу места.



В 1961 году студент Корнелльского университета Томас Сеттл в гостиной квартиры, в которой он снимал комнату, повторил опыты, описанные Галилеем в третьем дне его «Бесед». Он засек время, за которое бильярдный шар катился по наклонной плоскости, с помощью простых водяных часов, сделанных из сосуда и трубки. Собранные им данные не отклонялись и на десятую долю секунды от теоретических значений.

Но вернемся в XVII век. Развитие механики и астрономии требовало использования более точных часов. Эта проблема, имевшая важное значение для навигации, привлекла внимание и

государственных деятелей, которые обычно не очень интересовались наукой. Чтобы мотивировать ученых, правители стали предлагать им щедрое вознаграждение. Корабли уже следовали по опасным торговым маршрутам, пересекали Атлантический океан, огибали Африку, чтобы попасть в Индию, но у моряков все еще не было надежной системы, с помощью которой они могли бы определить свое положение в открытом море. Суда часто терялись, их экипажи умирали от голода, цинги или гибли в кораблекрушениях. Практическим решением так называемой проблемы долготы должно было стать измерение времени посредством инструмента, который, как компас, сохранял бы свою точность, несмотря на все сложности, возникающие в пути.

Гюйгенс начал заниматься часами по той же причине, по которой до этого заинтересовался телескопами: он хотел сконструировать совершенное устройство. Для этого ученый рассмотрел задачу со всех сторон — с технической, физической и математической. Во время работы его любознательность неизбежно отвлекала его, так что Гюйгенс детально рассмотрел несколько сопутствующих вопросов. В этом проекте он применил результаты некоторых своих исследований, в частности исследование кругового движения.

В часах, которые отсчитывали часы и минуты фараонов и римских императоров, использовались природные явления, совершающиеся в регулярном ритме, такие как движение Солнца и догорание свечи, или же такие, чье постоянство помогало измерить одинаковые отрезки времени: например, пересыпание порции песка из одного сосуда в другой под действием силы тяжести. Маятниковые часы завершили переход к использованию периодических явлений, сущность которых состоит в повторении одного и того же процесса.

Найти периодическое явление — значит обнаружить в природе линейку, которая сама по себе отмечает равные временные отрезки. Хорошим примером является частота света или звука. Картину периодических явлений увенчала атомная шкала, но до XX века она была недоступна. Сегодня большая часть часов в мире следует ритму вибраций кристалла кварца, находящегося под небольшим напряжением.

Ученым XVII века приходилось в поте лица искать периодические движения. По легенде, молодой Галилей, пришедший на мессу в Пизанский собор, заметил, как раскачивается горящая лампада, подвешенная к потолку. Используя свой пульс как хронометр (еще одно более или менее периодическое природное явление), он пришел к выводу, что

колебания совершались за равные промежутки времени, хотя трение воздуха и уменьшало их радиус. Галилею потребовалось несколько десятков лет, чтобы связать это открытие с часами. Как рассказывал его ученик Винченцо Вивиани, озарение пришло к ученому только на последнем году жизни:

«Помню, в один день 1641 года, когда я еще жил с ним на вилле Арчетри, ему пришла в голову идея сделать маятник с весами или пружинами [...]. Он надеялся, что естественное и довольно регулярное движение маятника восполнит любой недостаток при создании часов. Поскольку из-за слепоты он не мог рисовать и создавать нужные модели, когда его сын Винченцо приехал к нему однажды из Флоренции в Арчетри, Галилей рассказал ему о своей идее, и они долго разговаривали об этом».

Мы точно не знаем, о чем они дискутировали. Скорее всего, Винченцо Галилей постарался воплотить проект своего отца, но, видимо, механизм не работал как надо, поскольку он не обнародовал это изобретение. Гюйгенс решил положить конец спорам о первенстве открытия во введении в свое сочинение «Маятниковые часы»: «...несколько лиц желают быть изобретателями или же претендуют на эту честь... Я считаю необходимым выступить, наконец, здесь против этих несправедливых притязаний».

В чем смысл изобретения, о котором велись эти споры? Начнем с самой простой модели часов. Они состоят из барабана, на который мы наматываем веревку, привязанную к весу. Можно вставить и стрелку на ось или на диск, связанный с цилиндром посредством шестеренок. Когда мы освобождаем вес, под действием силы притяжения он упадет вниз и заставит стрелку сдвинуться. Действие этих часов будет очень коротким, так как вращение остановится, едва только вес достигнет земли или веревка полностью размотается.

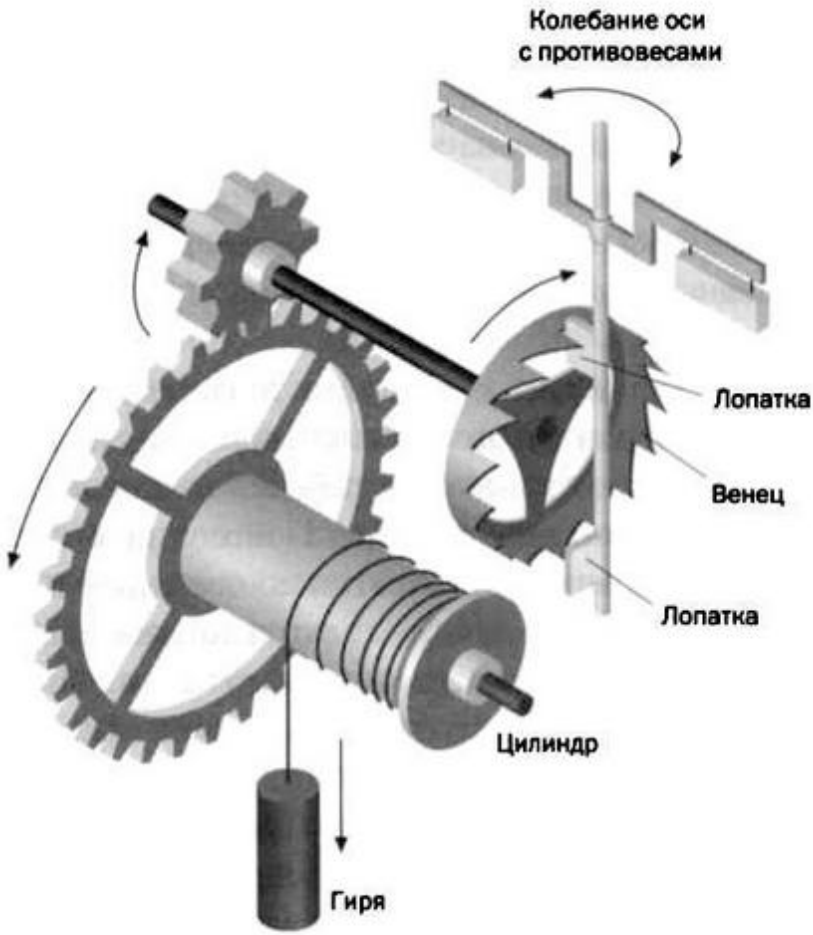


РИС.1

Таким образом, первое улучшение, которое можно привнести, состоит в замедлении падения. Для этого можно воспользоваться самым простым способом торможения — трением. Но его трудно отрегулировать так, чтобы барабан поворачивался, например, ровно за одну минуту. С другой стороны, само трение способствует большому износу механизма, который не смог бы работать равномерно, поскольку очень чувствителен к таким атмосферным условиям, как температура и влажность.

В конце XIII века в часах стала использоваться новая техника, позволявшая замедлить падение веса и придать вращению барабана регулярность, — спусковой механизм. Некоторые приписывают это изобретение Виллару де Оннекуру, персонажу, окутанному легендой. Единственный источник информации о его жизни сводится к нескольким комментариям, оставленным на 30

страницах пергамента, испещренных изображениями механизмов и машин перпетуум-мобиле. Первоначально спусковой механизм состоял из зубчатого колеса, зубчатого венца и оси с двумя лопатками, на которую монтировался горизонтальный станок или балансир с двумя противовесами (см. рисунок 1). Лопатки установлены под углом примерно в 90°, то есть контактируют с венцом по одной. Венец и ось с противовесами вращаются в перпендикулярных направлениях и сталкиваются друг с другом. Вертикальная ось меняет направление вращения под воздействием последовательных ударов, которые зубцы передают лопаткам, в то время как гиря всегда двигается вниз, увлекая за собой цилиндр. Каждый удар зубца по лопатке в свою очередь моментально тормозит вращение венца и, следовательно, цилиндра.

Зубцы венца имеют одну прямую сторону и одну наклонную. Прямая сторона обеспечивает вращение оси. Ударяя по верхней лопатке, зубцы толкают ось в одном направлении, по нижней — в противоположном. Тот же удар, который отдаляет лопатку от траектории венца, ставит вторую лопатку перпендикулярно. Противовесы должны тормозить инерцию этих вращений, чтобы при ударах не терялось слишком много энергии. Спусковой механизм одновременно выполняет две функции: поддерживает ось в движении и тормозит переменными импульсами вращение барабана. Сила тяжести (и рука, которая поднимает гирю, когда веревка раскручивается полностью) дает всю энергию, в которой нуждаются часы: двигает венец и лопатки, контролирует колебание оси.

Этот искусный механизм осуществлял деление времени, диктуемое столкновениями лопаток с венцом. Но этот ритм — «тик-так» — не позволял делить время на абсолютно равные промежутки. Достаточно было того, чтобы зубцы износились (что происходило часто) или чтобы между противовесами хотя бы немного нарушилось равновесие, чтобы поворот лопаток терял равномерность. Каждый удар начинал провоцировать довольно случайное отдаление венца, сложно поддающееся регулировке. Самые лучшие часы с этой моделью спускового механизма под названием билянец, или фолио, работали с отставанием 15 минут в день.

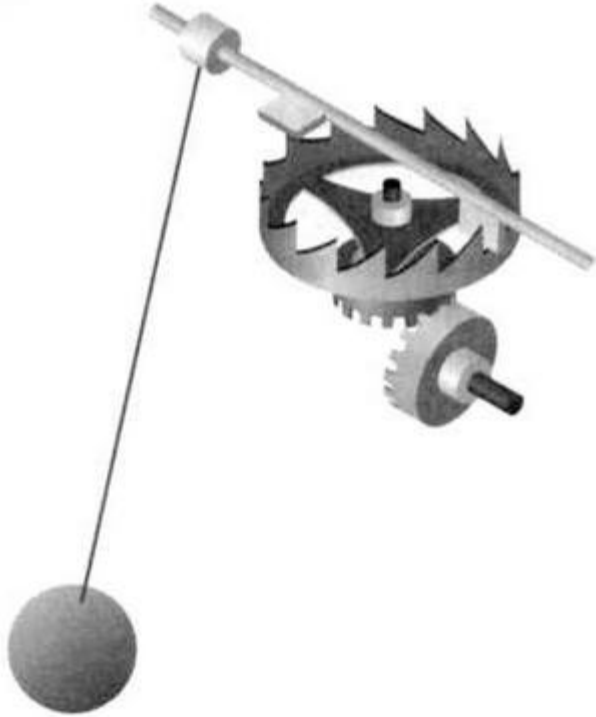


РИС. 2

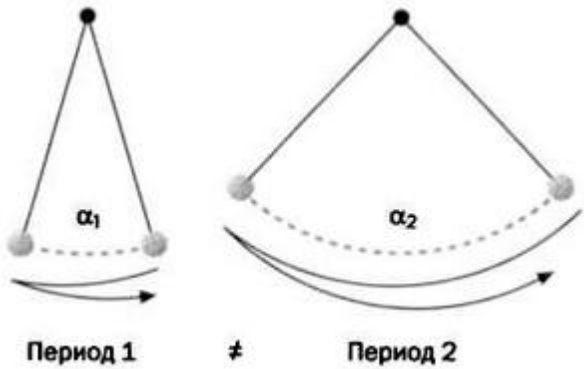


РИС.3

ЧАСОВЩИК

Модель часов Гюйгенса появилась не как попытка решить проблему несовершенного взаимодействия между двумя элементами механизма, а вводила новый элемент — маятник. По своей физической природе он дает нам чистое периодическое колебание, которое можно использовать для деления времени на

равные промежутки. Маятник сообщает регулярность своего движения лопаткам и исправляет их асимметрию. Если, как думал Галилей, ширина колебаний не влияет на период, то он останется неизменным, если только не получит удары разной интенсивности от зубцов венца, которые имеют тенденцию менять размах колебаний. Маятник также позволяет сделать движение более плавным по сравнению с колебанием противовесов, уменьшая износ шестеренок.

Ориентация венца и оси меняется, но они продолжают вращаться в перпендикулярных направлениях (см. рисунок 2).

Как и в модели со спусковым механизмом, столкновение с зубцами дает маятнику энергию, которую тот теряет из-за трения с воздухом. Маятниковые часы распределяют падение тела под действием силы притяжения на регулярные интервалы. Главная проблема заключалась в том, что, в отличие от догадок Галилея, период колебания маятника зависел от его широты (см. рисунок 3).

Другими словами, чем больше угол а, тем больше времени гиря затрачивает на завершение колебания. Хотя на практике при небольших углах эта зависимость исчезает, для нормального функционирования механизм требовал широких колебаний. Гюйгенс принял вызов и решил сконструировать маятник, период которого не зависел бы от размаха колебаний.

В маятнике соотношение между вертикальным направлением действия силы притяжения, которая влечет гирю вниз, и сопротивлением веревки, которая не дает гире отдалиться дальше, чем на свою длину, заставляют его описывать дугу окружности. Таким образом, у нас есть два элемента: сила тяжести и ограничение, которое мы накладываем на естественную траекторию массы. Из этих двух элементов легче манипулировать со вторым. Пока мы можем забыть о веревке в надежде, что найдется другой способ, ограничивающий движение гири и заставляющий ее колебаться по траектории, которая не будет круговой. Например, гирю можно закрепить в хорошо смазанном тросе или катать по изогнутой поверхности. То есть, рассматривая эту ситуацию без каких-либо ограничений, можем ли мы придать гире циклическую траекторию, которую она будет проходить под действием силы тяжести и независимо от широты?

С точки зрения физики вопрос можно поставить по- другому: существует ли траектория, проходя по которой, тело затрачивает столько же времени, чтобы достигнуть самой низкой точки, как при падении, вне зависимости от того, откуда оно начало падать? Интуиция подсказывает нам, что нет. Главный герой «Моби Дика» Измаил находит ответ случайно,

КРУГОВОЕ ОТКЛОНЕНИЕ

На рисунке 1 показан простой маятник и главные элементы, отвечающие за его движение: вес P, возникающий в связи с силой притяжения, и натяжение веревки T. В классическом ньютоновом анализе вес раскладывается на сумму двух сил, одна действует перпендикулярно траектории ($Pp = P \cdot \cos\alpha$), другая — по окружности ($P_t = P \cdot \sin\alpha$). Это разделение ведет к двум уравнениям. В одном из них P_p равно натяжению ($P_p = T$) на двух концах колебания. Если P_p было больше T, веревка порвалась бы. Если бы оно было меньше, веревка растягивалась бы массой m. Поскольку L остается постоянной, первое уравнение ограничивает движение гири дугой окружности. Второе уравнение описывает его динамику, как оно ускоряется и тормозится, когда колебания идут по кругу: $m \cdot at = P_t = -P \cdot \sin\alpha$ (где at — круговое ускорение). Отрицательный знак появляется, так как когда α положителен ($\sin\alpha$ тоже положителен при $\alpha < 180^\circ$), то сила направлена влево, по направлению, которое мы считаем отрицательным, и наоборот. Если мы немного разовьем выражение, то получим:

$m \cdot d^2s/dt^2 = -m \cdot g \cdot \sin\alpha$,

где s представляет собой расстояние, пройденное вдоль окружности ($S = L \cdot \alpha$).

$d^2s/dt^2 = g \cdot \sin\alpha$, $d^2s/dt^2 = -g \cdot \sin s/L$.

Решением этого уравнения будет функция s(t), которая позволяет получить для каждого момента t положение массы s, то есть определяет ее траекторию. Обычно это непериодическая функция. Когда значение α очень мало (то есть когда L гораздо больше s), синус и угол становятся почти одинаковыми ($\alpha \approx \sin \alpha$), и уравнение упрощается:

$d^2s/dt^2 = -g \cdot s/L$.

Решение этого уравнения соответствует периодической функции:

$s(t) = smax \cdot \sin(\sqrt{(g/L)} \cdot t)$.

Чем больше угол α, тем больше отдалится значение его синуса и хуже будет периодическая апроксимация. Это расхождение называется круговым отклонением. На рисунке 2 черная кривая обозначает функцию $\sin\alpha$, а серая — функцию α. Видно, что они совпадают только при маленьких углах, а от 15° градусов начинается расхождение.

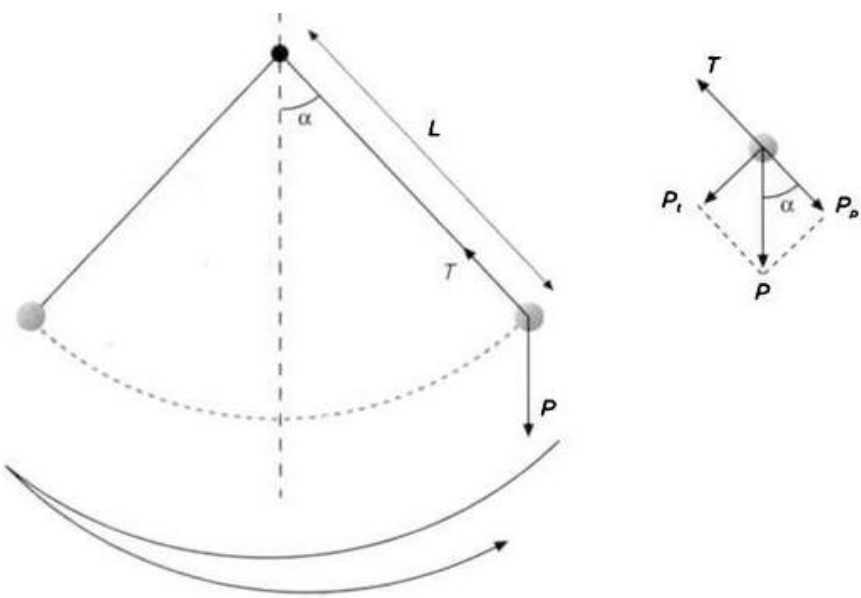


РИС. 1

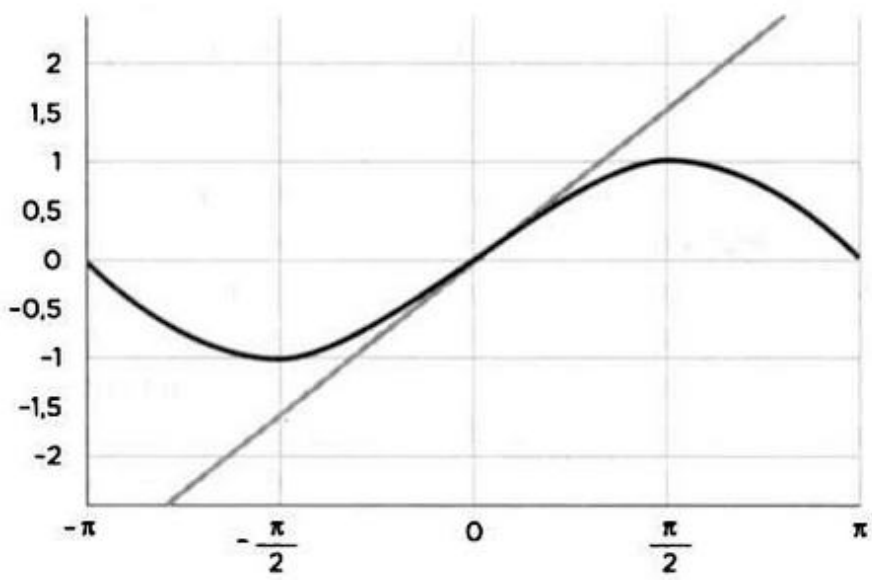


РИС. 2

когда чистит огромную кастрюлю, в которой очищался жир кита. Он понимает, что с какой бы высоты ни падало мыло, у него всегда уходит одинаковое количество времени, чтобы дойти до дна. Какой математической модели следовал изгиб дна кастрюль «Пеко»? За двести лет до появления Измаила, в декабре 1659 года, Гюйгенс открыл, что речь шла о перевернутой циклоиде.

Циклоида была одной из наиболее хорошо изученных кривых

для математиков того времени. Из-за споров вокруг нее циклоиду даже называли Еленой геометров и яблоком раздора. Говорят, что Паскаль начал заниматься этой кривой, чтобы отвлечься от зубной боли. Способ сработал, и ученый счел его знаком свыше, говорящим, что ему следует глубже изучить свойства циклоиды. И здесь на сцене опять появляется Галилей, поскольку именно он дал кривой это название, восхищенный ее «изящнейшим изгибом, так хорошо подходящим для арок мостов».

Самый простой способ нарисовать циклоиду состоит в том, чтобы отметить на окружности точку и сделать так, чтобы окружность катилась без скольжения. Траектория, по которой будет двигаться точка, и будет циклоидой (см. рисунок 4). Эта кривая имеет особые отношения с силой тяжести. В 1696 году Якоб Бернулли бросил научному сообществу вызов: если соединить две точки A и B линией и запустить по ней шар, то какую форму должна принять линия, чтобы шар затратил как можно меньше времени на то, чтобы пройти от A к B? Ответом опять была перевернутая циклоида.

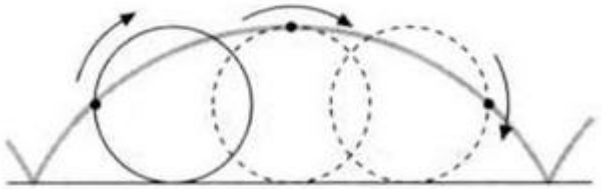


РИС. 4

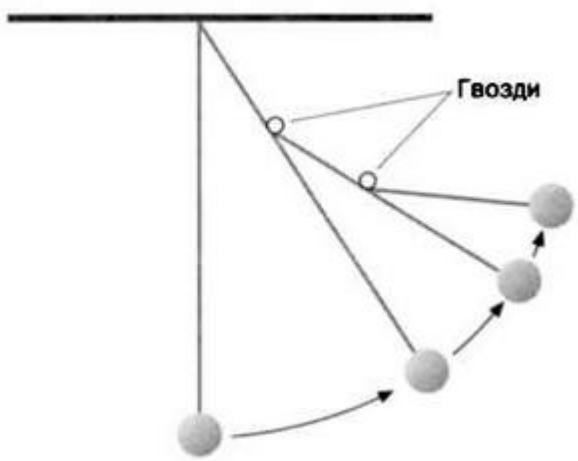


РИС. 5

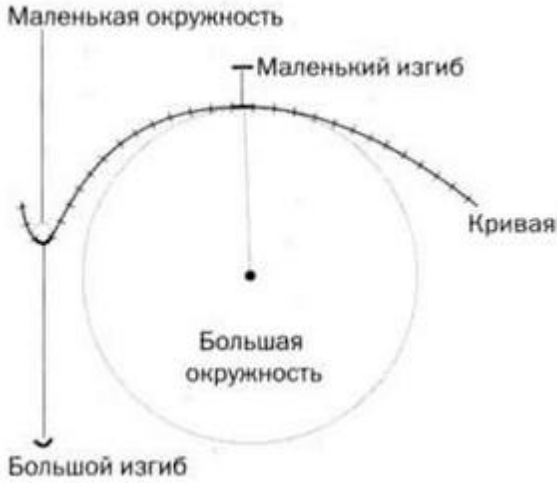

Маленькая окружность
Маленький изгиб
Кривая
Большая
окружность
Большой изгиб

РИС. 6

Кривая
Ширина циркуля
Эволюта
Дырки в бумаге

РИС. 7

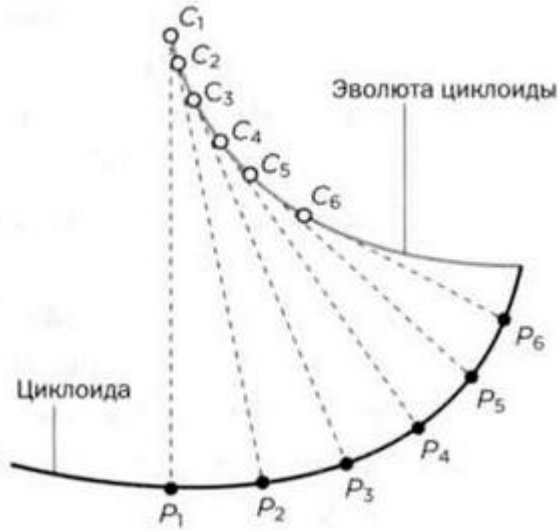


РИС. 8

Гюйгенса больше всего интересовало такое свойство кривой, как ее изохронность: вне зависимости от того, с какой высоты падает тело, если оно падает по циклоиде, то всегда затратит одинаковое количество времени, чтобы дойти до нижней точки. Падение составляет половину движения маятника, потому что после того как тело достигает нижней точки, полученный импульс заставляет его вернуться наверх. Если ограничение его восхождения симметрично тому, что влияет на его падение (не учитывая трение), то тело поднимется на ту же высоту, с которой упало, и опять спустится. Таким образом, одинаковые временные промежутки падения для всех высот становятся одинаковыми промежутками восхождения. Период — это сумма двух симметричных восхождений и падений. Если время не зависит от высоты, то период не будет зависеть от ширины колебаний. Гюйгенс нашел теоретическое решение своей задачи — идеальный маятник, колебания которого происходят по циклоиде. Теперь ему надо было дополнить это решение элементами, которыми он уже располагал. Ученый перевел задачу из физической плоскости в геометрическую. Он должен был найти способ нарисовать дугу циклоиды при помощи циркуля, поскольку маятник описывает именно часть окружности. Для этого Гюйгенс начал играть с длиной веревки. Достаточно было поставить на ее пути гвоздь, чтобы, начиная с этой точки, происходило маятникообразное движение меньшей длины. Несколько гвоздей, расставленные друг за другом на разной высоте, заставили бы гирю описывать окружность все меньшего

радиуса, который укорачивается следующим гвоздем и так далее (см. рисунок 5).

С математической точки зрения любую кривую можно разделить на отрезки, каждый из которых будет представлять собой приближение к очень короткой дуге окружности. Радиус каждой окружности будет зависеть от изгиба отрезка: там, где изгиб небольшой, необходимо будет расставлять ножки циркуля шире, там, где изгиб меньше, наоборот, циркуль надо будет раздвигать не так широко (см. рисунок 6).

Проделывая эту операцию на листе бумаги и отмеряя циркулем дуги окружностей, мы получим ряд дырок, которые оставит циркуль. Соединив их, мы получим еще одну кривую, связанную с первой, которая называется ее эволютой (см. рисунок 7). Гюйгенс сделал удивительное открытие: эволютой циклоиды является еще одна циклоида (см. рисунок 8).

Таким образом, если мы повесим маятник в точке C1 и разместим несколько гвоздей от C_2 до C_6, круговая естественная траектория веса P будет исправлена пять раз, пока не будет направлена по циклоиде. Апроксимация будет тем лучше, чем больше гвоздей размещены вдоль циклоиды-эволюты. На практике Гюйгенс вместо гвоздей использовал две металлические пластины, которым он придал форму дуг циклоиды. Таким образом ученый мог влиять на колебание маятника, укорачивая и удлиняя веревку в зависимости от размаха колебаний.

Гюйгенс играл с природой в математические игры, чтобы получить настоящее периодическое движение там, где его не было, и это стало поворотным моментом в истории науки. Ученый писал своему старому учителю ван Схотену, делясь с ним радостью изобретения: «Без сомнения, это мое лучшее открытие».

Можно рассмотреть работу маятника Гюйгенса и с другой точки зрения. В классическом маятнике гиря очерчивает дуги окружности. На ее период, начиная с определенного угла, начинает оказывать влияние размах колебаний. Чем больше угол, тем больше период. С другой стороны, Галилей говорил, что длина веревки также влияет на время, затраченное гирей для завершения каждого цикла. Чем длиннее веревка, тем больше период. Следовательно, мы видим две противоположные тенденции. Увеличение размаха удлиняет период. Уменьшение длины веревки уменьшает его. Что произойдет, если, по мере того как увеличивается угол, веревка будет укорачиваться, и вышеупомянутые влияния компенсируют друг друга? В этом и состояла задача пластины в виде циклоиды.

Гравюра на странице 149 (ниже по тексту), взятая из первой части «Маятниковых часов», показывает полный проект часов

Гюйгенса.

Колебание маятника имеет постоянный период и не зависит от размаха колебаний, передавая венцу равномерный ритм.

В то время часы Гюйгенса установили рекорд точности: ошибка была меньше одной минуты в день. Разумеется, изобретение ученого было не единственным в области часового дела. Более прозаические альтернативы вскоре затмили блеск его гениальной находки. С 1670 по 1680 год были созданы спуск с якорем и спуск Грэхема, которые были совместимы с маленькими колебаниями обычного маятника.

Я прочел его с большим удовольствием, найдя в нем множество остроумных и полезных рассуждений, достойных своего автора.

Ответ Ньютона после прочтения «Маятниковых часов» Гюйгенса

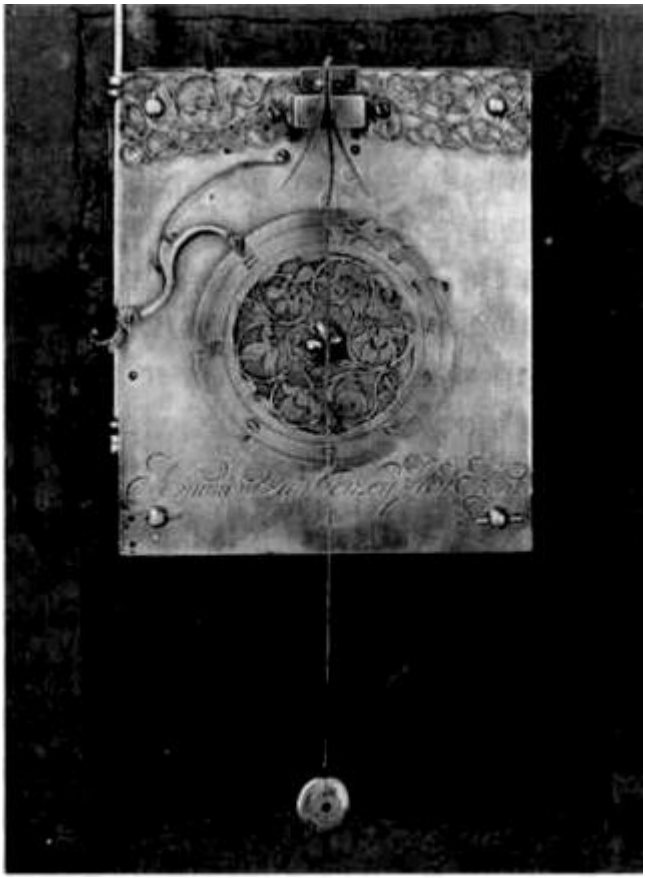
Пятая часть «Маятниковых часов» оканчивается 13 теоремами без доказательств о центробежной силе. Из них выводится, что ускорение, которое постоянно действует на тенденцию тела следовать по прямой линии и заставляет его описывать окружность, подтягивая его к своему центру, равно υ^2/r (где υ — скорость тела, а r — радиус окружности). Ньютон пришел к такому же выводу, следуя другим путем, но он не опубликовал свой результат, так что эту партию выиграл Гюйгенс.

В «Маятниковых часах» содержится также небольшой трактат по геометрии. После того как ученый занялся эволютами, искушение создать их общую теорию было слишком велико, и, разумеется, Гюйгенс не мог ему не поддаться. Он разработал метод определения эволюты любой кривой и применил его к параболе, эллипсу и гиперболе, а также связал квадратуру кривых с их эволютами.

Измерение времени завладело воображением Гюйгенса, став его вторым большим наваждением. Маятниковые часы прекрасно работали в гостиных Людовика XIV, но для того чтобы помочь капитану корабля определить его положение после шторма, механизм должен быть способным переносить постоянную тряску. К сожалению, это испытание часы не прошли. Они останавливались или падали на землю, хотя их и пытались крепко привязывать к потолочной балке. Гюйгенс был очень огорчен уязвимостью маятников во время морских путешествий и пересмотрел свой подход. Зная, что хорошие часы должны управляться периодическим движением, он попробовал другой способ: вращение венца подчинялось ритму сжатия и

распрямления металлической пружины, закрученной в спираль. У этой модели было еще одно преимущество: она позволяла создавать наручные часы — нечто невообразимое для того времени. Но эйфория пропала, когда при попытке запатентовать свое открытие в Лондоне Гюйгенс столкнулся с гневной реакцией Роберта Гука. Плодовитость и разносторонние интересы этого ученого вызывали удивление, но иногда служили прекрасным примером поговорки «За двумя зайцами погонишься — ни одного не поймаешь». Гук часто замечал разные научные возможности, но из-за нехватки времени или из-за того, что его знания математики не соответствовали физической интуиции, не воплощал их на деле. Однако он заявил, что изобрел часы с пружиной еще 16 лет назад, а открытие Гюйгенса «не стоило и пенни». Нидерландский ученый был шокирован тоном оппонента и с досадой жаловался на «эгоистические уверения» Гука, что «все изобрел только он».

Портрет Г юйгенса кисти Каспара Нечера, сделанный в период выздоровления ученого в Гааге в 1671 году.



Часы, созданные Гюйгенсом (Музей науки в Лондоне).

CHRISTIANI

HVGENII

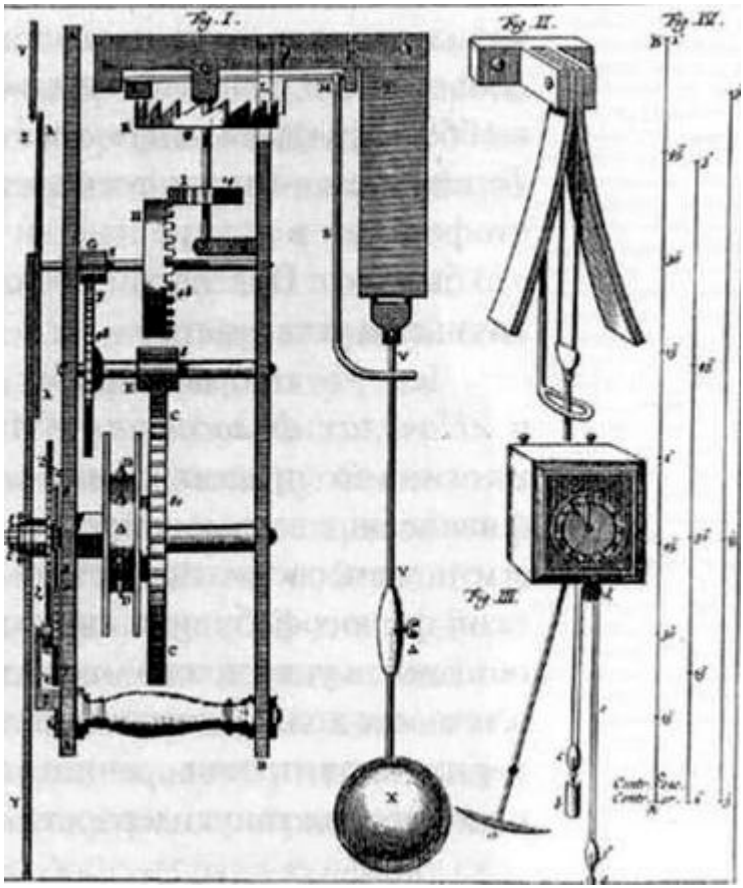
ZVLICHEMII, CONST. F.

HOROLOGIVM OSCILLATORIVM

SIVE

DE MOTV PENDVLORVM AD HOROLOGIA APTATO DEMONSTRATIONES GEOMETRICÆ.

PARISIIS,
Apud F. MUGUET, Regis & Illuſtriſſimi Archiepiſcopi Typographum,
viâ Citharæ, ad inſigne trium Regum.
MDCLXXIII.
CVM PRIVILEGIO REGIS.



Обложка «Маятниковых часов» и гравюра из книги, на которой изображен чертеж часов Гюйгенса.

СИММЕТРИЯ

Чтобы закончить краткое описание вклада Гюйгенса в науку, вернемся на 40 лет назад и рассмотрим одну из его первых работ, в которой особенно хорошо заметен его изящный стиль. Христиану было тогда 23 года, и ни время, ни шлифование линз, ни свет еще не захватили его внимание. Несмотря на молодой возраст, к тому времени он уже успел зарекомендовать себя как одаренный последователь Архимеда, сделав анализ стабильности тел в воде, и прославился математической виртуозностью своих квадратур. Гюйгенс впервые громко опроверг теорию Декарта, в частности его законы об упругом столкновении тел (вскоре за Христианом последуют и другие ученые). Первые важные результаты Гюйгенс получил в 1652 году, но не стал публиковать

их, намереваясь завершить более амбициозный проект, которым с перерывами занимался на протяжении нескольких лет. В 1656 году он начал писать трактат, который обрел законченный вид в 1667 году (De motu corporum ex percussione — «О движении тел под влиянием удара») и был издан после смерти исследователя. Он поторопился обнародовать часть результатов даже без доказательств и сделал это в 1669 году сначала в Journal des Savants, а затем в Philosophical Transactions — после того как узнал, что Джон Валлис и Кристофер Рен в январе издали статью на ту же тему. Как часто это бывало с Гюйгенсом, его открытия, долго пролежав в столе, начинали устаревать.

Декарт сформулировал свои законы о столкновении в «Началах философии» в 1644 году. «Начала» были одной из основ его представлений о механике, по которым различные физические взаимодействия, такие как сила тяжести, свет или магнетизм, сводились к столкновению частиц эфира. Французский философ, будучи автором обширной системы, способной объяснить устройство мироздания, имел четкое представление о том, как должна вести себя природа. Если же результаты экспериментов противоречили этому представлению, он просто игнорировал такую дерзость:

«Доказательства всего этого настолько точны, что даже если опыт, как нам кажется, показывает обратное, мы тем не менее обязаны больше доверять нашему уму, нежели органам чувств».

Такой подход был скорее в духе последователей Аристотеля, с которыми Декарт сражался, и не очень вписывался в то, что мы называем наукой. В результате природа, описываемая Декартом, выглядела немного фантастично, из-за чего Лейбниц назвал «Начала» «красивым романом о физике». В книге описываются восемь правил, объясняющих механизм столкновений и описывающих удивительные явления. Согласно одному из них, когда тело сталкивается с другим, более крупным, в состоянии покоя, то подпрыгивает на своей же скорости, не сдвигая более крупное ни на один сантиметр. Если бы это было правдой, то взрослые не падали бы, когда в них на всей скорости врезаются бегущие дети.

Скорее всего, Гюйгенс читал «Начала», изумленно вздымая бровь. В январе 1652 года он выразил свои сомнения Герарду ван Гутсховену из Лёвена. Затем он выждал еще девять месяцев, чтобы окончательно утвердиться в своей правоте, и написал своему учителю ван Схотену, профессору Лейденского университета и одному из главных сторонников Декарта. Учитель посоветовал Христиану не терять времени на подобную ересь, но юноша упорствовал:

«Если все правила Декарта, за исключением первого, не ошибочны, значит, я не в состоянии больше отличить правду от лжи».

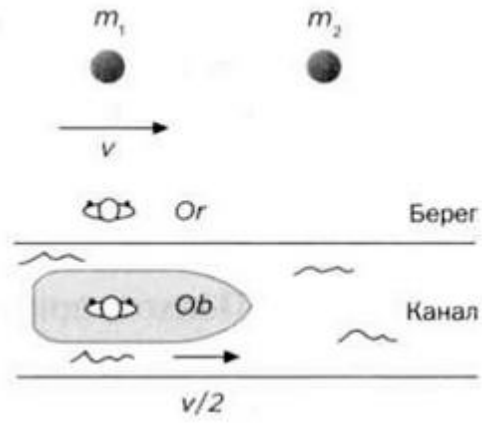
Разумеется, Гюйгенс прекрасно видел разницу. Он не стал слушать ван Схотена, а последовал совету своего первого учителя, Яна Стампиоэна, и попытался прийти к собственным выводам, не позволяя другим влиять на себя. В его подходе сочеталось влияние античных и современных ученых. Античных — потому что Гюйгенс пользовался физикой, еще не обновленной Ньютоном, а современных — потому что большая часть его аргументации вращается вокруг симметрии, что было типично для физики того времени. Гюйгенс взял за основу своего анализа принцип, описанный Галилеем в его знаменитых «Беседах» в 1638 году. Тогда ученый заметил, что человек, сидящий в трюме корабля и проводящий механические эксперименты, не мог сказать, стоит судно на месте или же движется с постоянной скоростью. Действительно, если корабль не ускоряется, то его передвижение не влияет на динамику предметов, находящихся в трюме. В своем исследовании столкновений Гюйгенс постоянно меняет перспективу, но поскольку все они взаимодействуют друг с другом на постоянных скоростях, сущность исследуемого взаимодействия не меняется. Инстинкт подсказал ученому, что в столкновении важнее относительная скорость между телами — та, на которой каждый понимает, что приближается к другому, вне зависимости от позиции наблюдателя.

Рассматриваемые столкновения являются упругими, то есть удар при них не отнимает энергию движения тел. Гюйгенс отталкивался от единственного уцелевшего от его критики правила Декарта: если две массы сталкиваются на одинаковой скорости, то подпрыгивают, а их скорости направляются в противоположные стороны. Симметрия ситуации приводит к еще одному интуитивному результату. Обозначим массы тел m_1 и m_2 и примем их скорости за положительные, когда они направлены вправо (→), и за отрицательные, когда они направлены в обратную сторону (←). Меняя направление скорости, m_1 переходит от υ к $-\upsilon$, а m_2 — от $-\upsilon$ к υ.

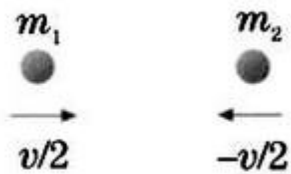
Гюйгенс стал искать симметрию этого элементарного столкновения во всех других, но для этого ему пришлось менять свой угол зрения, как зритель пересаживается в другое кресло в театральном зале, желая лучше видеть симметрию, незаметную другим зрителям, однако тот факт, что он сидит на более удобном месте, не влияет на сам спектакль. Все изменения угла зрения, рассмотренные Гюйгенсом, не влияют на скорость тел.

Рассмотрим два примера. Пусть второе тело m_2 находится в

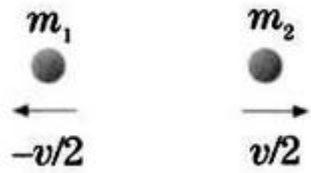
покое, а m_1 движется по направлению к нему на скорости υ. Каким будет результат столкновения? Масса m_1 изменит свое направление и превратится в $-\upsilon$? Остановится и передаст всю свою скорость m_2? Передаст ему только часть импульса, и они вместе покатятся вправо с разными скоростями?



Сначала мы не имеем симметрии, как в предыдущем случае, и лишь гадаем, что произойдет. Затем Гюйгенс рассматривает это столкновение на борту корабля, который движется вправо со скоростью $\upsilon/2$. Чтобы прояснить ситуацию, он прибегает к помощи двух наблюдателей. Один из них неподвижен (Or) и стоит на берегу канала, а второй находится на корабле (Ob), который плывет в направлении m_1 с постоянной скоростью $\upsilon/2$. Ob движется вместе с кораблем, поэтому для него масса m_2 не стоит на месте: она приближается к нему со скоростью $\upsilon/2$. С другой стороны, так как Ob движется в том же направлении, что и m_1, для него эта масса будет двигаться медленнее. Это тот же эффект, что мы замечаем, когда едем в автомобиле. Нам кажется, что неподвижные фонари приближаются к нам со скоростью нашей машины, а машины, которые едут по соседним полосам, едут медленнее, чем когда мы смотрим на них с тротуара. Итак, Ob присутствует при следующем столкновении:



Наша интуиция может подсказать, как произойдет столкновение: скорости каждой массы поменяются на обратные.

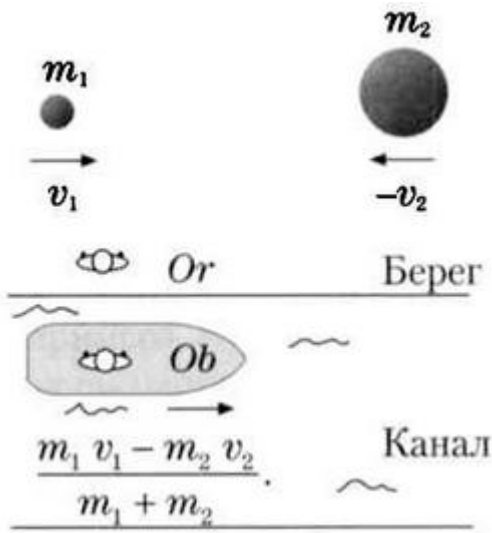


С точки наблюдения Ob можно оценить эту симметрию. Чтобы сказать, что наблюдал бы Or, мы должны отделить от двух масс часть движения, вызванного передвижением корабля. Возвращаясь к примеру с автомобилем, если мы остановимся на обочине, машины, которые ехали в нашем направлении, приобретут нашу скорость, а те, что двигались в противоположном, потеряют ее. То есть m_2 и m_1 приобретут и потеряют $\upsilon/2$ соответственно. После столкновения Or увидит, что m_1 остается в неподвижности, а m_2 удаляется вправо со скоростью υ.

Подход, применимый к этому конкретному случаю, легко позволяет предугадать результат любого столкновения между двумя телами, имеющими равную массу, которые движутся с разной скоростью. Что же происходит, когда массы не равны друг другу? Это условие, казалось бы, нарушает симметрию, но Гюйгенс сумел восстановить ее. Для каждой скорости лодки существует скорость, позволяющая нам иметь удобную точку наблюдения, в которой каждое тело меняет свое направление после столкновения. Это

$(m_1 \upsilon_1 - m_2 \upsilon_2)/(m_1 + m_2)$

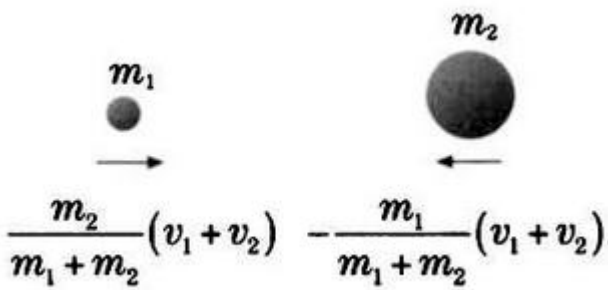
В числителе этого выражения скорость умножается на массу и получается физическая величина, которая называется моментом (момент p тела массы m равен $p = m \cdot \upsilon$). Разделив его опять на массу, получаем скорость. Рассмотрим следующую ситуацию.



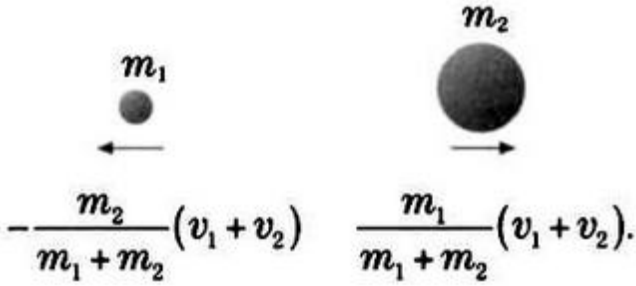
Теперь массы отличаются: m_2 больше, чем m_1. Чтобы лучше описать столкновение, предположим, что υ_1 больше υ_2 (или еще лучше: $m_1 \cdot \upsilon_1 > m_2 \cdot \upsilon_2$). Если мы присутствуем при столкновении корабля, который движется вправо с постоянной скоростью, то:

$(m_1 \upsilon_1 - m_2 \upsilon_2)/(m_1 + m_2)$

Мы будем наблюдать следующее:



Поскольку m_2 больше, чем m_1 для наблюдателя на борту корабля маленькая масса будет двигаться быстрее, чем большая. Из своей смотровой башни Ob заметит, что m_1 после столкновения начинает двигаться в обратном направлении, как и m_2.



Чтобы понять, что наблюдает Or, стоящий неподвижно на берегу, мы должны прибавить

$(m_1 \upsilon_1 - m_2 \upsilon_2)/(m_1 + m_2)$

к массе, которая двигается в направлении корабля (m_2), и отнять самую большую скорость от массы, которая двигается в обратном направлении, m_1 Так мы получим результат, очень далекий от интуитивного:

ДЬЯВОЛ В ДЕТАЛЯХ

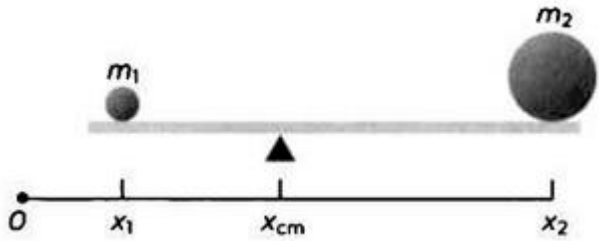
На первый взгляд довольно произвольное выражение скорости корабля соответствует так называемому центру масс. Это абстрактное понятие, очень полезное для изучения поведения многих физических систем. Для двух тел m_1 и m_2, расположенных в x_1 и x_2, отмечается точка на прямой, соединяющей их. Ее положение x_{cm} определяется как:

$$x_{cm} = (m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2)/(m_1 + m_2).$$

Центр масс обозначает точку равновесия, на которую можно поставить доску, уравновешивающую оба тела (см. рисунок). Если массы двигаются, то двигаться будет обычно и точка x_{cm}. Ее скорость будет равна

$$v_{cm} = (m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2)/(m_1 + m_2).$$

Поменяв знак v_2, чтобы показать, что эта масса начинает двигаться влево, мы получим выражение для скорости корабля, который, следовательно, находится в центре масс — наилучшем месте, чтобы наблюдать симметрию столкновения. Учитывая закон сохранения момента, мы получаем, что столкновение не меняется при изменении скорости центра масс.



Мы можем подробнее рассмотреть, как меняются скорости для наблюдателей, находящихся на корабле и на берегу. Возьмем переменные V_{1ba} (скорость массы m_1, какой она кажется с корабля до столкновения), V_{2ba} (скорость массы m_2 с корабля до столкновения), V_{1oa} (скорость массы m_v какой она кажется с берега до столкновения), v_{2oa} (скорость массы m_2 с берега до столкновения) и V_b (скорость корабля). Для O_b до столкновения скорости тел равны:

$$V_{1ba} = V_{1oa} - V_b = V_1 - (m_1 \cdot V_1 - m_2 \cdot V_2)/(m_1 + m_2) = (m_2 \cdot (V_1 + V_2))/(m_1 + m_2),$$

$$V_{2ba} = V_{2oa} - V_b = -V_2 - (m_1 \cdot V_1 - m_2 \cdot V_2)/(m_1 + m_2) = (m_1 \cdot (V_1 + V_2))/(m_1 + m_2).$$

Из этого выражения можно получить один из ключей симметрии в центре масс: в нем оба тела имеют одинаковый момент ($m_1 \cdot V1_{ba} = m_2 \cdot V_{2ba}$). После столкновения направления меняются, то есть:

$$V_{1bd} = -(m_2 \cdot (V_1 + V_2))/(m_1 + m_2),\ V_{2bd} = (m_1 \cdot (V_1 + V_2))/(m_1 + m_2),$$

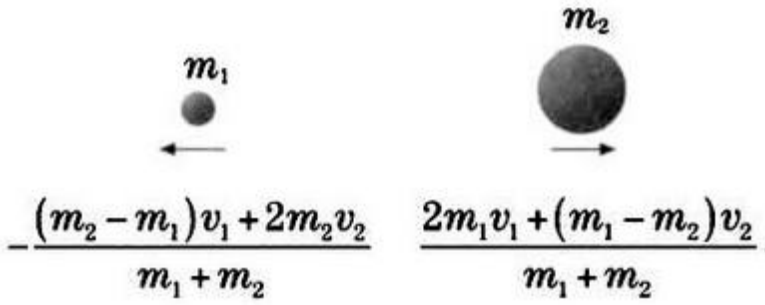
где индекс d теперь заменяет a, обозначая, что это скорости после столкновения. Чтобы получить скорость с берега, достаточно убрать первое изменение:

$$V_{1od} = V_{1bd} + V_b = -(m_2 \cdot (V_1 + V_2))/(m_1 + m_2) + (m_1 \cdot V_1 - m_2 \cdot V_2)/(m_1 + m_2) =$$

$$- ((m_2 - m_1) \cdot V_1 + 2 \cdot m_2 \cdot V_2)/(m_1 + m_2),$$

$$V_{2od} = V_{2bd} + V_b = (m_1 \cdot (V_1 + V_2))/(m_1 + m_2) + (m_1 \cdot V_1 - m_2 \cdot V_2)/(m_1 + m_2) =$$

$$- (2 \cdot m_1 \cdot V_1 + (m_1 - m_2) \cdot V_2)/(m_1 + m_2)$$



От внимательного взгляда Гюйгенса не ускользнули две новые симметрии. Хотя при столкновении скорости тел меняются, есть величины, которые остаются неизменными. Прежде всего это масса, а также сумма произведений каждой массы и ее скорости (момента) до и после столкновения. То есть:

$m_1 \cdot \upsilon_{1до} + m_2 \cdot \upsilon_{2до} = m_1 \cdot \upsilon_{1после} + m_2 \cdot \upsilon_{2после}$

$p_{1до} + p_{2до} = p_{1после} + p_{2после}$.

Эту симметрию можно наблюдать и в других физических ситуациях. Обобщая, мы можем сказать, что она является одним из столпов физики — законом сохранения углового момента. Гюйгенс отметил наличие еще одной величины — суммы произведения каждой массы на квадрат ее скорости до и после столкновения:

$m_1 \cdot \upsilon_1{}^2{}_{до} + m_2 \cdot \upsilon_2{}^2{}_{до} = m_1 \cdot \upsilon_1{}^2{}_{после} + m_2 \cdot \upsilon_2{}^2{}_{после}$

Здесь нетрудно заметить проявление принципа сохранения энергии, в данном случае кинетической.

Надо уточнить, что Гюйгенс работал в доньютоновой теоретической системе. Он ни разу не использовал понятие силы и, следовательно, ни разу не говорил о силе действия и реакции, чтобы объяснить изменение скорости тел. Сегодня упругие столкновения решаются на уровне элементарной физики, при этом само собой разумеющимися считаются принципы сохранения энергии с двумя уравнениями и двумя неизвестными (конечными скоростями). Но Гюйгенсу было труднее, чем нам, ведь в XVII веке законы сохранения энергии уже созревали, но пока не были четко сформулированы. В некотором смысле ученый превратил задачу из динамической в статическую. Сталкивающиеся тела, разумеется, движутся, хотя он наблюдал их с такой симметричной и предсказуемой перспективы, как будто они не выходили из равновесия.

Анализ столкновений Гюйгенса может считаться революционным, потому что он знаменует рождение математической физики. Когда мы представляем себе физика, поглощенного работой, будь то Альберт Эйнштейн или Шелдон

Купер, наше воображение рисует нам доску, покрытую формулами. Но так было не всегда. Галилей описывал законы падения тел словами, помогая себе рисунками геометрических фигур, так же делали Архимед и все его предшественники. Даже Джероламо Кардано решал кубическое уравнение в словесной форме, представляя каждый его член как трехмерный куб, который можно изобразить на рисунке. Начиная с сочинения Франсуа Виета алгебра приобрела гибкий и лаконичный язык, который позволял выразить гораздо больше, нежели слова. Почти сразу же Декарт протянул мост между геометрическими рисунками и уравнениями. Вид книг по механике и астрономии радикально изменился: вместо параграфов, набранных мелким шрифтом и прерывавшихся только рисунками прямых, парабол и окружностей, страницы заполнились алгебраическими выражениями, в которых перемежались буквы и знаки операций. Этот научный переворот, состоящий в математической записи и математическом подходе к физике, был совершен именно Гюйгенсом. Почти со стопроцентной уверенностью можно сказать, что вычисления столкновений, которые он записывал на своих больших листах в 1652 году, были первым примером уравнений, в которых переменные означали скорость и массу — иными словами, физические величины. Разумеется, этот переход был постепенным. Сам Гюйгенс, как и Ньютон, предпочитал традиционный метод записи, восходивший к Архимеду.

Однако перемены, встречающиеся в сочинении «О движении тел под влиянием удара», сделаны в духе теории относительности. Эта деталь не ускользнула от Эйнштейна. В специальной теории относительности точки зрения называются системами отсчета. Те, что остаются в покое или движутся с постоянной скоростью по отношению к другим, названы инерциальными. В 1954 году Эйнштейн писал своему другу, швейцарскому инженеру Мишелю Бессо:

«В сущности, специальная теория относительности всего лишь адаптирует понятие инерциальной системы к твердой уверенности, продиктованной опытом, что скорость света постоянна в любой инерциальной системе. Она не может обойтись без понятия инерциальной системы, невозможной с эпистемологической точки зрения ([Эрнст] Мах ясно показывает несостоятельность этого понятия, хотя о нем уже начинали задумываться Гюйгенс и Лейбниц)».

Список рекомендуемой литературы

Andriesse, C.D., Huygens: The Man Behind the Principle, Cambridge, Cambridge University Press, 2005.

Ausejo, E., Las matematicas en el siglo xvn, Madrid, Akal, 1992.

Basulto Santos, J. y Camünez Ruiz, J.A., La geometria del azar. La correspondencia entre Pierre de Fermat y Blaise Pascal, Très Cantos (Madrid), Nivola, 2007.

Dijksterhuis, F.J., Lenses and Waves: Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the Seventeenth Century, Nueva York, Springer-Verlag, 2004.

Ferris, T., La aventura del universe, Barcelona, Critica, 2007.

Gamow, G., Biografta de la fisica, Madrid, Alianza Editorial, 2007.

Gribbin, J., Historia de la ciencia, 1543-2001, Barcelona, Critica, 2003.

Holton, G., Introducciôn a los conceptos y teorias de las ciencias fisicas, Barcelona, Reverté, 2004.

Krach, H., Historia de la cosmologia, Barcelona, Critica, 2008.

Pla, C., Huygens-Fresnel. La teoria ondulatoria de la luz, Buenos Aires, Losada, 1945.

Serway, R.A., y Jewett, J.W., Fisica II, Mexico, Thomson, 2003.

Sou's, C. y Sellés, M., Historia de la ciencia, Madrid, Espasa, 2005.

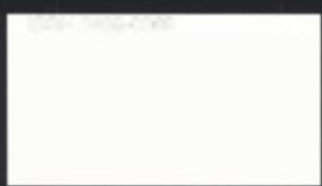
Указатель

Systema Saturnium (« Система Сатурна») 13,57,60,61,66, 69-74,76,78,82,92
Traité de la lumière («Трактат о свете») 13,37,39,101,117, 131
аберрация
сферическая 9,37, 40,42, 72, 92,94,96,97,125
хроматическая 37, 69,72, 78, 95,97,98
Адамс, Джон Куч 82
Азимов, Айзек 46
Архимед 9,10, 20, 27,127,150, 159
Барде, Сюзанна ван 13,18
Барроу, Исаак 94,95,98
Бартолин, Расмус 99,100
Буйо, Исмаэль 52,91
Вермеер, Ян 7
Виет, Франсуа 23,159
Вильгельм Оранский 17, 23
Вильгельм II Оранский 18, 24, 26
Вильгельм III Оранский 26,91,127,130
волна вторичная 108
двойное лучепреломление 13,100,115.118.130
Декарт 7,9,10,18, 22-25, 27, 37, 38,42-44,89,92,96,128,129, 130,132,150-152,159
Галилей, Галилео 8-11, 21, 23,40, 45,47,49,53-59,61,62,66,69, 71,72,73,78,112,133-135, 137,141,144,147,152,159
Галлей, Эдмунд 128
Гаскойн, Уильям 72,73
Гевелий, Ян 62, 68
Гершель, Джон 46
гравитация 10,81,124
Грегори, Джеймс 96
Грешем-колледж 87,130
Гук, Роберт 8,13,88,123,125,148
Гюйгенс Константин (отец), 8,13,17— 21,23-26,54,89-91,125, 127,128
Константин (старший брат) 19,44,45,89,91,124,126- 128, 130, 132,133
Лодевейк (младший брат) 24, 51,90, 124
Сюзанна (сестра) 124
диаметр угловой 74, 75, 77, 78
Дивини, Эустакио 58, 68, 70, 72
диоптрика 28, 29, 33,41, 42, 44, 45, 73,84,92, 94,95,96,99,100,

126
длина фокусная 33, 34, 39, 42, 69
долгота 134-136
изображение мнимое 36,38
изохронность 145
Кеплер, Иоганн 22, 28, 40-42, 44, 54-56, 77,78
Кольбер, Жан-Батист 93,101,126, 127
кольцо Сатурна 9,13,18, 47,57- 61,64,65,67-72, 75,79,81-83, 123,124
Коперник, Николай 22, 40,70, 71, 74, 77
«Космотеорос» 13, 132-133
круговое отклонение 142, 143
Купер, Шелдон 159
Левенгук, Антони ван 7, 8,125
Леверье, Урбен 82
Лейбниц, Готфрид 8,10,11,13, 43, 123,130-132,160
Леопольд Медичи 70, 71
линза сферическая 37, 39,40, 42, 43, 69,94,96
Лондонское королевское общество 8, 87,98,122
луч необычный 100, 115-117
Людовик XIV 13,90,91,93,101, 123, 126, 148
Максвелл, Джеймс Клерк 9,83
математический анализ 11,13, 26, 130, 131
«Маятниковые часы» 13,123,129, 137,146,147, 149
микрометр 9, 13, 72-75, 84
модель
волновая 9, 107
корпускулярная 104
Монмор, Абер де 52,88
Мориц Оранский 20, 23
Ньютон, Исаак 8, 10,11, 13, 23, 27,28,78,93,95-99,113,115, 128-131,147,151,158,159
объектив 35,37-39,42,44,45,69, 72, 73,92
Овидий 47, 56
«О движении тел под влиянием удара» 150,159
Озу, Адриен 52,91
окуляр 35-38,39, 42,44, 45, 69, 72, 73,84,92,94,96,97
Гюйгенса 13, 44
оптика геометрическая 9,10,13, 15, 29,95,99-101,109,111,113
«О расчетах в азартной игре» 23, 53, 54
ось оптическая 115-117
Паскаль, Блез 13, 52,53,144
поляризация 100,102,103
предел Роша 80, 82

преломление 29, 38-41,85,98, 113, 115,118,125
двойное 9,100
принцип Гюйгенса 9, 10, 107,109, 110,115, 117
Птолемей, Клавдий 22, 38, 70
Рен, Кристофер 60, 62, 67, 69, 71, 81,87,150
Рёмер, Оле 114
Роберваль, Жиль де 52, 62, 91, 123
Сеттл, Томас 135
Снелль, Виллеборд 38, 39
закон Снелля 38-41,94, 100, 110,111,115
Спиноза, Барух 7, 43
Стампиоэн, Ян 22,151
Стевин, Симон 7, 11, 20-23,126
Схотен, Франс ван 23, 25-28, 53, 92,146,151
телескоп 8,9,12,13,15, 27, 28, 36, 37, 40,42, 44,45, 49, 54, 58, 59, 60,68-73,82-84,88,92,95-98
воздушный 69
наоборот 125
Титан 9,13,15,46, 52, 56, 61-63, 66, 68, 78,84
Фабри, Оноре 70, 71
фокус 34,37,38, 69
Французская академия наук 8, 13, 52,87,89,90,91,101
Фредерик-Генрих Оранский 18, 19, 22, 24
Френель, Огюстен 9, 13
Хофвик 43, 128-130
Хэрриотт, Томас 38
центр масс 156
центробежная сила 147
циклоида 13, 141, 144-147
часы маятниковые 9, 13, 61, 119,124,136-137,140,141, 147-149
Шаплен, Жан 52, 54,82
Шейнер, Кристоф 67
широта 134
шпат исландский 9,13, 85,99,100, 103,115,118,130
эволюта 145-148
Эйнштейн, Альберт 115,159

Христиан Гюйгенс стоял у истоков современной науки. Этот нидерландский физик и математик получил превосходное образование, которое позволило ему войти в высшие интеллектуальные круги XVII века в период, когда появлялись государственные научные организации и обмен идеями становился все интенсивнее. Гюйгенс был первопроходцем в математическом изучении вероятностей, а его опыт в области механики позволил ему сконструировать маятниковые часы. Но главные достижения ученого относятся к области оптики и исследования природы света, в ходе которого был сформулирован принцип Гюйгенса, позже ставший основой волновой теории света. Ученый также существенно улучшил телескопы, открыл с их помощью Титан, главный спутник Сатурна, и разглядел его кольца.



Рекомендуемая розничная цена: 289 руб.

12+

Христиан Гюйгенс стоял у истоков современной науки. Этот нидерландский физик и математик получил превосходное образование, которое позволило ему войти в

высшие интеллектуальные круги XVII века в период, когда появлялись государственные научные организации и обмен идеями становился все интенсивнее. Гюйгенс был первопроходцем в математическом изучении вероятностей, а его опыт в области механики позволил ему сконструировать маятниковые часы. Но главные достижения ученого относятся к области оптики и исследования природы света, в ходе которого был сформулирован принцип Гюйгенса, позже ставший основой волновой теории света. Ученый также существенно улучшил телескопы, открыл с их помощью Титан, главный спутник Сатурна, и разглядел его кольца.